

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

**Výroba elektrické energie a tepla z důlních plynů
v kogeneračních jednotkách**

**Production of electric power and heat using mine gas in
cogeneration units**

2011

Pavel Kamas

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Pavel Kamas**

Studijní program: N2649 Elektrotechnika

Studijní obor: 3907T001 Elektroenergetika

Téma: Výroba elektrické energie a tepla z důlního plynu v kogeneračních jednotkách
Production of electric power and heat using mine gas in co-generation units

Zásady pro vypracování:

1. Základní pojmy z oblasti kogenerace
2. Důlní plyn v Ostravsko-karvinském revíru jako druhotný zdroj energie
3. Kogenerační jednotky spalující důlní plyn
4. Vliv konkrétní kogenerační jednotky na distribuční soustavu
5. Vývoj a perspektiva využití důlního plynu na Ostravsko-karvinsku

Seznam doporučené odborné literatury:

1. Dvorský E., Hejtmánková P. : Kombinován výroba elektrické a tepelné energie, Praha, 2005
2. Krbek, J., Polesný, B.: Kogenerační jednotky - zřizování a provoz, Praha, 2007
3. Tabašek, M.: Energetické využití bioplynu v kogenerační jednotce se spalovacím motorem, Ostrava, 2007
4. Prokop, P.: Důlní degazace, Ostrava, 2008
5. Onderek, B.: Výroba elektrické energie a tepla z bioplynu, Dip.práce, Ostrava, 2009
6. Opluštil, J.: Důlní plyn jako druhotný zdroj energie pro kombinovanou výrobu elektřiny a tepla, 2009
7. www stránky společnosti Green Gas DPB, a.s.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Petr Moldřík, Ph.D.**

Datum zadání: 19.11.2010

Datum odevzdání: 06.05.2011

prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry

prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení:

*„Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně.
Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal“*

Poděkování:

Děkuji Ing. Petru Moldříkovi, Ph.D. vedoucímu této diplomové práce, za poskytnutí odborného vedení.

Datum:

Podpis:

Abstrakt

Cílem diplomové práce je poskytnout ucelený přehled problematiky kogenerační výroby elektrické energie a tepla za použití důlního plynu. Diplomová práce je členěna na dvě hlavní části. První část je seznámení s kogenerační výrobou a druhá část se zabývá posouzením vlivů kogenerační jednotky na distribuční síť. Dále se první část dělí na základní pojmy z oblasti kogenerace, důlní plyn v Ostravsko-karvinském revíru jako druhotný zdroj energie a kogenerační jednotky spalující důlní plyn. Druhá část se zabývá analýzou dat naměřené u konkrétní kogenerační jednotky a vývojem a perspektivou využití důlního plynu v Ostravsko-karvinském revíru.

Klíčová slova

Důlní plyn jako palivo, Kogenerační jednotka, Vliv kogenerační jednotky na síť, Kogenerace

Abstract

The thesis aims to provide a comprehensive overview of the problem of co-generation of electricity and heat using a gas mine. The thesis is divided into two main parts. The first part is the introduction of co-generation and second part deals with the assessment of the effects of cogeneration units to the distribution network. It is further subdivided into the first part of the basic concepts of cogeneration, gas mining in the Ostrava-Karvin mining district as a secondary source of energy and cogeneration units burning gas mining. The second part deals with analysis of data obtained from the cogeneration unit and the specific Developments and prospects of the use of gas mining in the Ostrava-Karvina coalfield.

Passwords

Mine gas as fuel, cogeneration units, cogeneration units influence on the network, Cogeneration

Seznam použitých symbolů a zkratek:

HDO	Hromadné dálkové ovládání
Hz	jednotka frekvence (Herz)
KJ	kogenerační jednotka
OKR	Ostravsko-karvinský revír
P	činný výkon (Watt)
P_{lt}	dlouhodobá míra vjemu flikru
P_{st}	krátkodobá míra vjemu flikru
Q	jalový výkon
T	Tlak (MPa)
TUV	Teplá užitková voda
U_n	normalizované jmenovité napětí
V	jednotka napětí (Volt)
t	teplota (°C)
vn	vysoké napětí
vvn	velmi vysoké napětí
nn	nízké napětí
η	účinnos t(%)

Obsah

ÚVOD	7
1. ZÁKLADNÍ POJMY Z OBLASTI KOGENERACE	8
1.1 PRINCIP TRANSFORMACE A VYUŽÍVÁNÍ ENERGETICKÝCH ZDROJŮ	8
1.2 DEFINICE KOMBINOVANÉ VÝROBY ENERGIÍ	9
1.3 POPIS KOGENERACNÍ JEDNOTKY	10
1.4 POROVNÁNÍ VÝROBNÍCH PROCESŮ	13
2. DŮLNÍ PLYN V OSTRAVSKO-KARVINSKÉM REVÍRU JAKO DRUHOTNÝ ZDROJ ENERGIE	16
2.1 SLOŽKY DŮLNÍCH PLYNŮ	16
2.2 DŮLNÍ DEGAZACÍ	18
<i>Důvody pro zavedení degazace</i>	<i>18</i>
<i>Rozdělení degazace</i>	<i>19</i>
<i>Degazační vrty.....</i>	<i>22</i>
2.3 SPOLEČNOST OKD	24
2.4 VYUŽITÍ DŮLNÍHO PLYNU V KONKRÉTNÍM DOLE.....	26
3. KOGENERACNÍ JEDNOTKY SPALUJÍCÍ DŮLNÍ PLYN.....	27
3.1. KOGENERACE S PARNÍMI TURBÍNAMI A MOTORY	27
3.2 KOGENERACE SE SPALOVACÍMI TURBÍNAMI.....	30
<i>Mikroturbíny.....</i>	<i>32</i>
3.3 KOGENERACE SE SPALOVACÍ MOTORY	32
3.4 PAROPLYNOVÁ ZAŘÍZENÍ.....	34
3.5 STIRLINGŮV MOTOR.....	36
4. VLIV KONKRÉTNÍ KOGENERACNÍ JEDNOTKY NA DISTRIBUČNÍ SOUSTAVU.....	38
4.1 PARAMETRY SÍTĚ PODLE NORMY ČSN 50160	38
4.2 PRAVIDLA PRO PROVOZ ZDROJŮ SE SÍTÍ PDS	42
4.3 POPIS KOGENERACNÍ JEDNOTKY	45
4.4 ANALÝZA NAMĚŘENÝCH DAT	48
4.5 ZPRACOVANÉ GRAFY A JEJICH ZÁVĚRY	52
5.VÝVOJ A PERSPEKTIVA VYUŽITÍ DŮLNÍHO PLYNU NA OSTRAVSKO-KARVINSKU	59
5.1 VÝVOJ KOGENERACE V OKR.....	59
5.2 METODA OPTIMÁLNÍHO ZVÝŠENÍ TĚŽBY KARBONSKÉHO PLYNU	60
5.3 PERSPEKTIVA KOGENERACE V OBLASTI OKR.....	61
ZÁVĚR.....	64
POUŽITÁ LITERATURA	65

Úvod

V dnešní době, kdy se svět probouzí po světové ekonomické krizi, jsou na energetiku vyvíjeny tlaky na zvýšení efektivnosti a zlepšení všech vlastností. Tímto se energetika velice rychle rozvíjí. Mezi hlavní problémy patří zejména zvyšování energetických potřeb obyvatel a jejich cenová dostupnost.

Jako jedno z řešení se nabízí v energetice hledání nových technologií a nových pracovních procesů pro výrobu elektrické energie a také je brát v úvahu i tepelnou energii. V našich podmínkách je brát v potaz, že potřeba tepelné energie je v menší části celého roku. Když k tomu přidáme ještě zvýšení pohodlí lidí v létě, mám na mysli zvyšování výkonů klimatizačních jednotek, tak počítáme, že na tepelnou energii a to ve formě teplé nebo studené je využití skoro po celý rok.

Z tohoto důvodů je vhodné se věnovat problematice kogeneračních procesů při spalování důlního plynu. Tento plyn se dá považovat jako ekvivalent zemního plynu. Se zvyšující náročností dopravy zemního plynu lze očekávat zvýšení zájmu společnosti o tento produkt. V OKR se dá předpokládat, že po ukončení těžby černého uhlí, se musí důlní organizace věnovat možnosti získávání důlního plynu s maximální efektivností.

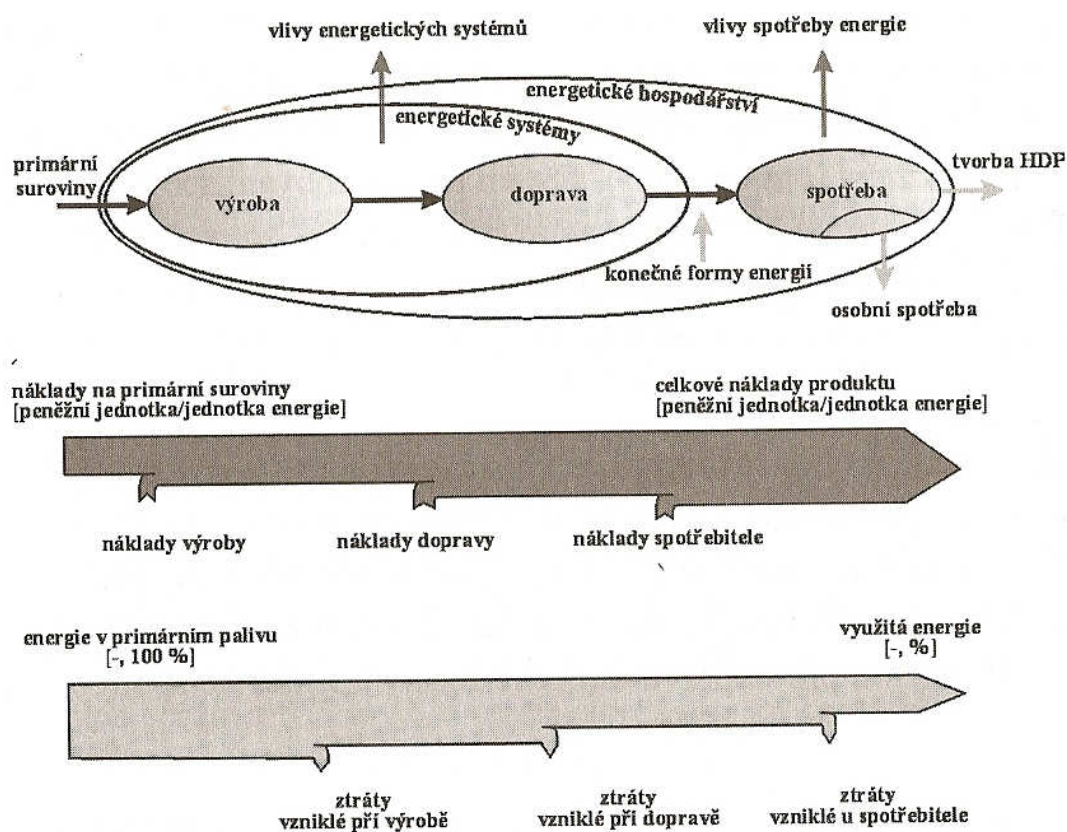
V následujících kapitolách jsou podány informace o kogenerační výrobě elektrické energie a tepla. Jako použité palivo pro kogenerační jednotky je zvolen důlní plyn. Důlní plyn je odsáván jak z činných dolů, kde těžba pokračuje, tak i z dolů které jsou již uzavřeny. Dále je věnována pozornost spalovacím motorům, které spalují toto palivo.

Jako stěžejní část diplomové práce je posouzení vlivu konkrétní kogenerační jednotky na lokální distribuční síť. Dále je zde nastíněno vývoj a perspektiva využití důlního plynu v oblasti Ostravsko-karvinského revíru.

1. Základní pojmy z oblasti kogenerace

1.1 Princip transformace a využívání energetických zdrojů

K zachování lidské existence a k jejímu dalšímu technickému rozvoji je potřeba využití energetických zdrojů, což znamená, že potřebujeme různé formy energie. Energetické hospodářství slouží k zajištění uspokojivé poptávky spotřeby po určitém druhu zboží a je složeno z výrobních řetězců a vlastní spotřeby energetických zdrojů.



Obr. 1 Energetické hospodářství

Primární energetické zdroje jsou dopravovány ke konečnému spotřebiteli díky energetickým výrobním řetězcům. Tyto zdroje mohou mít požadovanou formu energie:

- elektrickou
- mechanickou
- tepelnou

nebo být ve formě kapalných, plynných nebo tuhých paliv připraveny na konečnou transformaci ke spotřebiteli. Každý výrobní řetězec vynakládá určité náklady, které se musí promítnout zvýšením ceny prvotní suroviny na konečnou cenu výrobku. Výroba a doprava, tedy těžba, zušlechťování a transformace mají vliv na životní prostředí.

Energetické systémy se skládají podle konečné (dodávané) formy energie, nebo podle zdroje. Energetické systémy se člení na:

- elektrizační soustava
- plynofikační soustava
- teplofikační soustava

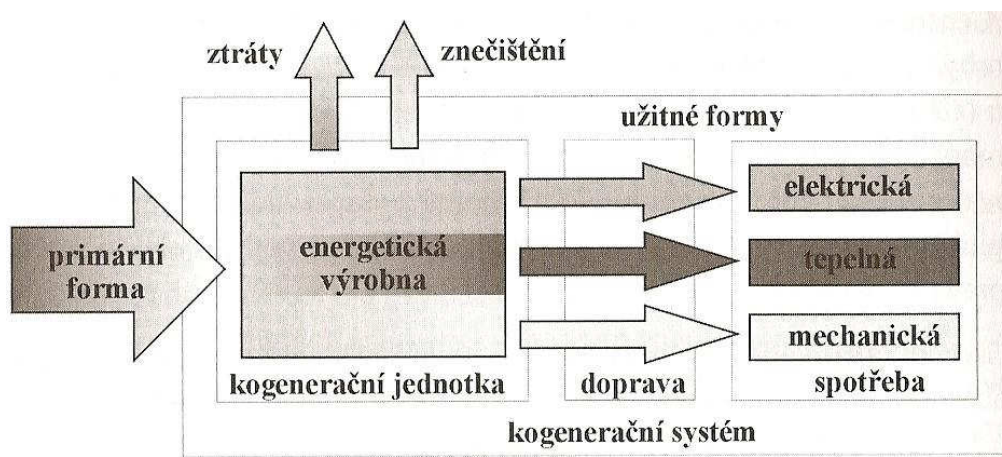
Spotřebitelé si mohou vymyslet svoje vlastní energetické systémy, které pokryjí jejich požadovanou spotřebu. Pokud jsou spotřebitelé, kteří nemají vlastní krytí spotřeby, tak jsou nuceni si energii dovážet. Na vzdálenosti od výroby se liší celkové náklady na provoz i na životní prostředí. Rozlišujeme tedy dva systémy pro dodávku energií:

- centralizované systémy - dálkové
- decentralizované systémy – lokální

[1]

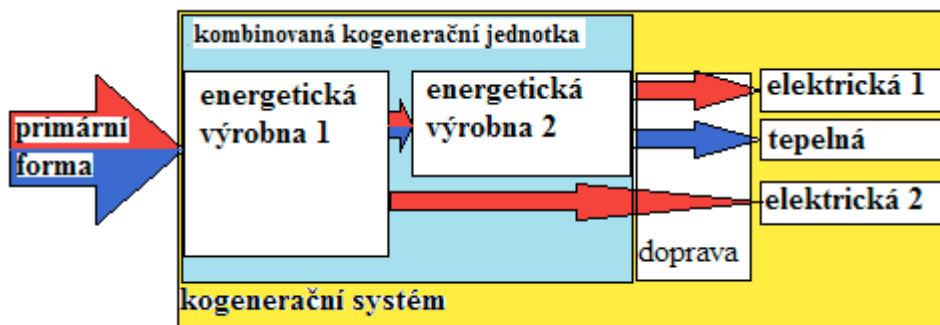
1.2 Definice kombinované výroby energií

Kombinace výroby energií může být jak současná tak postupná, která se přeměňuje z primární formy a připravena k využití u spotřebitele. Nejčastější kombinace výroby energií je výroba elektrické energie a tepelné energie. Tento proces se nazývá kogenerace. Systém, který zajišťuje výrobu a dopravu elektrické a tepelné energie se nazývá kogenerační systém. V případě jestli chceme výrobu elektrické energie a tepelné energie obohatit o proces výroby chladu mluvíme tak o trigeneraci.



Obr. 2 Kombinovaná výroba užitečných energetických forem

Transformace z primárních zdrojů na elektrickou energii a tepelnou energii probíhá v energetických výrobnách. Tyto výroby se nazývají nejčastěji jako teplárenské jednotky nebo kogenerační jednotky (KJ). Výroby energií může probíhat ve dvou transformačních řetězcích.



Obr. 3 Výrobní řetězec realizovaný kombinací dvou transformačních řetězců

[1]

1.3 Popis kogenerační jednotky

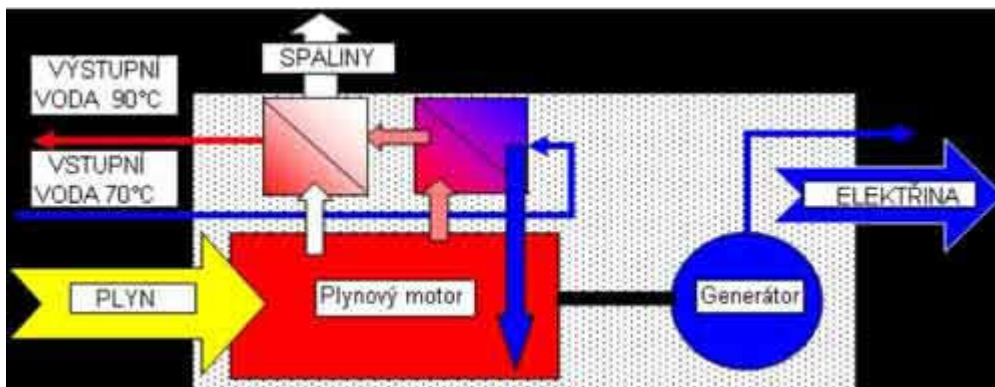
V tomto bodě budu popisovat kogenerační jednotku, která vyrábí současně tepelnou a elektrickou energii nejčastěji ze zemního plynu, propan-butanu nebo bioplynu.

Tato teplárna označovaná odborným slovem kogenerace má dvě základní části.

- Spalovací motor
- elektrický synchronní nebo asynchronní generátor.

Obě technická zařízení jsou vzájemně propojeny. Kogenerační jednotka má také výhodu ve své velikosti. Teplárny byly za minulých dob stavěny pro části měst nebo pro městské aglomerace. Tyto objekty byly vybudovány na obrovských plochách. Komíny, které patřily k teplárnám také ohydily buď ráz krajiny nebo města.

Základní princip kogenerační jednotky je naznačený z následujícího obrázku:



Obr. 4 Princip kogenerační jednotky

Tato kogenerační jednotka může být použita pro vytápění a přípravu teplé vody ve větších rodinných domech (použití teplé vody pro vytápění bazénu) s možností prodeje vyrobené elektřiny do rozvodné sítě. Podle zákona 458/2000 Sb. má dodavatel elektřiny povinnost přebytečnou elektrickou energii odkoupit. Kogenerační jednotka je vhodná pro výrobu elektřiny pro vlastní spotřebu v nemocničních komplexech, hotelích, relaxačních centrech, školách a školkách s bazénem, menších průmyslových výrobnách, zemědělských podnicích, čistíčkách odpadních vod apod. s možností využití odpadního tepla.

Primárním palivem kogeneračních jednotek může být například:

- Zemní naftový plyn
- propan-butan
- bioplyn
- nebo po konzultaci s výrobcem jiné palivo

Kogenerační jednotka je konstrukčně řešena s umístěním spalovacího motoru a generátoru na společném základovém rámu. Tyto základní prvky doplněné o potřebné příslušenství jsou umístěny pod protihlukovým krytem.

Na řídicím panelu jednotky si můžeme jednoduše zjistit provozní informace a informace o stavu kogenerační jednotky a to jsou například:

- vyrobené množství elektřiny
- provozní hodiny jednotky
- výstupní teplotu spalin do komína
- výstupní teplotu vody dodávanou do systému ústředního vytápění
- další technické údaje

K přípravě teplé užitkové vody nebo k vytápění je použito odpadní teplo z chladicí kapaliny a spalin. Vlastní chladicí okruh teplárny je oddělen od okruhu topného systému přes tepelné výměníky. Kogenerace může v paralelním provozu spolupracovat s vnější elektrickou rozvodnou soustavou dodavatele elektřiny a je přizpůsobena k dodávce elektřiny do sítě v době platnosti špičkového, vysokého i nízkého tarifu. Kogenerační jednotka může být provozována v základním i špičkovém zatížení. Při návrhu bývá výhodné volit pokrytí potřebného provozního elektrického výkonu elektrické energie kogenerační jednotkou a špičky vykryt dodávkou od dodavatele energie. Jednotka je konstruována pro plně automatizovaný, bezobslužný provoz s periodickými prohlídkami a potřebnou údržbou spočívající například ve výměně oleje.

Pro ochranu zařízení jsou v jednotce instalovány elektrické ochrany, ke kterým například patří:

- zpětná wattová ochrana,
- nadproudová ochrana,
- ochrana proti nesymetrickému zatížení,
- ochrana proti nebezpečnému dotykovému napětí,
- frekvenční ochrany zamezují provozu v případě výpadků sítě.

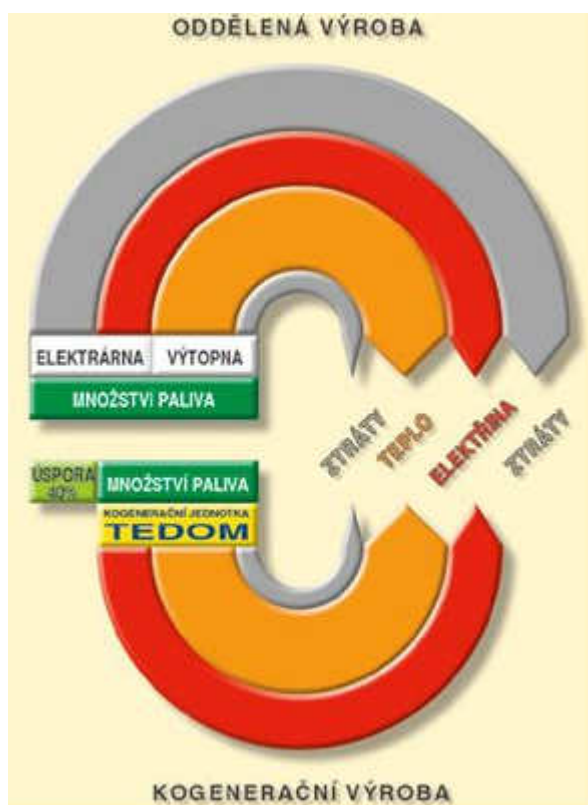
Výše uvedené elektrické ochrany, spolu s technologickými ochranami spalovacího motoru v případě poruchy umožňují samočinné odstavení soustrojí z provozu a uzavření přívodu paliva.

Spouštění a odstavování kogenerační jednotky z provozu je realizováno pomocí prvotního elektrického impulsu vyslaného například Hromadným Dálkovým Ovládáním (HDO) časovým spínačem, modemem.

[5]

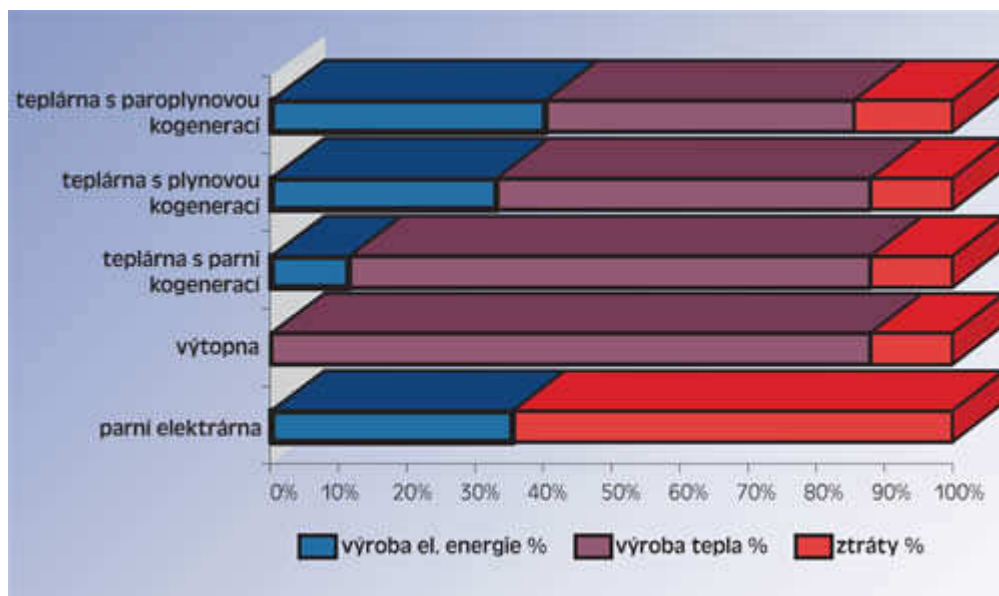
1.4 Porovnání výrobních procesů

Při výrobě elektřiny ve velkých tepelných (uhelných a jaderných) elektrárnách se využije cca 30 % (u starých) a až 42 % (u moderních) energie obsažené v palivu; zbytek se bez užitku odvádí do vzduchu chladicími věžemi. Na druhou stranu u nás existují tisíce městských vytopen a větších kotelen, které z uhlí vyrábějí pouze teplo, ačkoli by mohly produkovat i elektřinu.



Obr. 5 Porovnání výrobních procesů

V teplárnách a jiných kogeneračních zařízeních, kde se teplo využívá, je spotřeba neobnovitelných fosilních paliv nižší. Tomu odpovídá i snížení emisí škodlivin ze zdrojů energie v globálním měřítku. Kromě významného faktoru decentralizace výroby elektřiny vede použití kombinované výroby elektřiny a tepla ke snížení ztrát v elektrorozvodné síti a k vyšší bezpečnosti dodávek - výpadek jednoho zdroje nemá větší vliv.



Obr. 6 Rozdělení energií

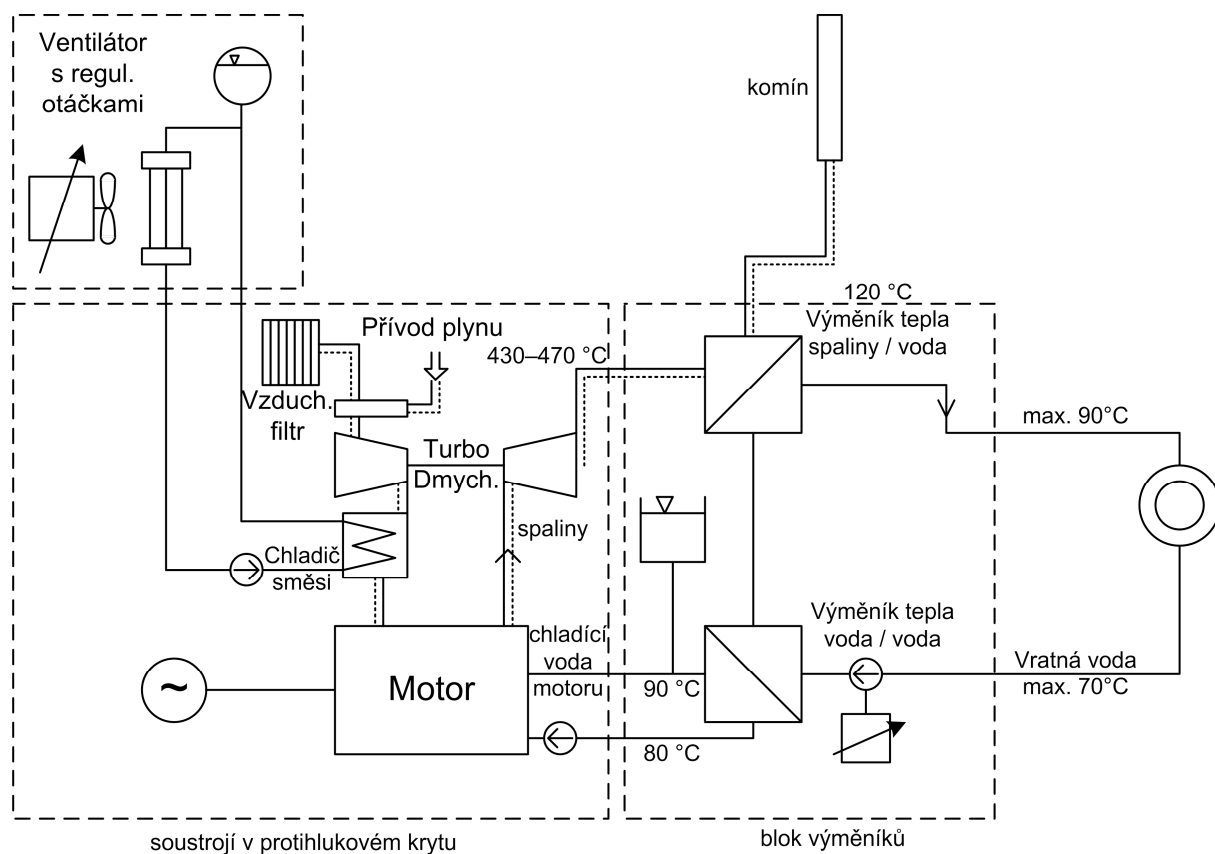
Rozdělení tepla přivedeného v palivu (na výrobu elektřiny, tepla a tepelné ztráty) v jednotlivých typech kombinované výroby elektřiny a tepla a porovnání s oddělenou výrobou tepla.[9]

Použití pístových spalovacích motorů pro kombinovanou výrobu elektřiny a tepla umožňuje snižování spotřeby primárních energetických zdrojů a výrazné snižování škodlivin emisí. V teplárenských aplikacích se dosahuje účinnosti až 90%. Vyrábějí se jednotky od řádově desítek kW až po jednotky s výkonem několika MW.

Na blokovém schématu kogenerační jednotky můžeme spatřit, že je zařízení velice složité. Z tohoto důvodu se zařízení rozděluje na základní členění:

- elektrická soustrojí v protihlukovém krytu
- tepelná část (blok výměníku)
- regulace

[6]



Obr. 7 Blokové schéma kogenerační jednotky

2. Důlní plyn v Ostravsko-karvinském revíru jako druhotný zdroj energie

2.1 Složky důlních plynů

Důlní plyny vznikají ve složitém procesu prouhelňování. Proces závisí na času, teplotě a tlaku. Důlní plyny jsou primárně uchovávány v uhelných slojích a prostojích. Sekundárně bychom je mohli najít v průvodních karbonských horninách, z nichž se uvolňují při získávání uhlí.

Důlní plyn prezentuje ve směsi se vzduchem vysoce výbušnou směs (pouze ale v koncentraci od 5 do 15 %). V ostravsko-karvinském revíru geologické podloží způsobily, že plyn nemohl unikat nepropustnými nadložními vrstvami a zůstal v ložisku. Důlní plyn neznámá jenom přítěž má své výhody. Jeho hlavní složka - metan - má vynikající výhřevnost 35 MJ/m³. [7]

Horníci se museli s přítomností důlního plynu neustále potýkat. Byly vyrobeny speciální zařízení, které nemohli způsobit výbuch a také varovali horníky před nebezpečím. Havíři jsou v dnešní době vybaveni moderními analytickými přístroji, kterými se v pravidelných intervalech kontroluje výskyt metanu. [7]

Mezi hlavní složky důlních plynů patří tyto prvky a sloučeniny:

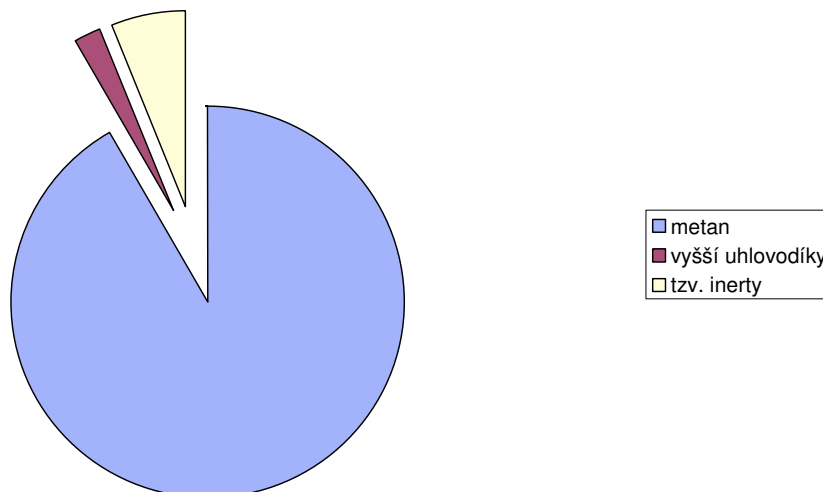
- Metan CH₄
- Vodík H₂
- Etan C₂H₆
- Kysličník uhličitý CO₂
- Dusík N₂

Složení karbonského zemního plynu:

Složky důlního plynu	Obsah v procentech
metan	92,50%
vyšší uhlovodíky	2,25%
tzv. inerty (převážně dusík a oxid uhličitý)	6,30%

Tab. 1 Složení karbonského zemního plynu (převzato www.OKD.cz)

Složky důlního plynu (%)



Obr. 8 Složky důlního plynu

Metan CH_4 je lehký uhlovodík, který vzniká z rostlinných nebo živočišných látek za nepřístupu vzduchu. Tyto změny lze najít ve všech geologických útvarech, kde se vyskytovali živočišné nebo rostlinstvo. Z tohoto důvodu lze metan najít nejen v uhelných útvarech, v naftě, zemních plynech ale i ložiscích soli.

Metan, který se považuje za jediný důlní plyn, získáváme při prouhelňování. Některé pochody, které působí na uhelnou sloj, jsou:

- zaplavení (zamezení přístupu vzduchu)
- klesání do hloubek, tím se zvýší tlak a teplota
- vystavení tlaku a následkům horotvorných pochodů, zvláště vrásnění

Vznik metanu, popsáný rovnicí:



Za přispění těchto pochodů můžeme získat hnědé uhlí, nebo černé uhlí (kamenné), které se dělí ještě na pálavé, uhlí plynové, koksové, chudé, antracitické přes antracit až ke grafitu. Plyny, které se nashromáždily v ložisku uhelné sloje a byly přikryty plynotěsným masívkem se nedostaly do atmosféry. Sekundární ložiska v sobě nemohou plyn udržet, tím plyn pronikal do puklin a trhlin. Tyto útvary byly buď úplně bez plynu, nebo byly na důlní plyn chudé.

Při prouhelňování hnědého uhlí se vyskytoval ve větší míře oxid uhličitý CO_2 a v menší metan CH_4 . Postupem času se z hnědého uhlí stávalo černé a tím se obsah oxidu uhličitého a metanu měnil. Z většího množství CO_2 na menší množství CO_2 a z menšího množství plynu na větší množství CH_4 . V důlním plynu byly zjištěny i v menší míře H_2 (vodík), C_2H_6 (etan) i N_2 (dusík).

Vodík H_2 vzniká při důlních požárech rozkladem pevných uhlovodíků z uhlí a hoří se vzduchem. Optimální meze výbušnosti vodíku se vzduchem se pohybují od 4,1 do 74,2%. Vodík je v důlních plynech často nerozpoznatelný z důvodů, že odchází jako zplodiny vodní páry.

Etan C_2H_6 vzniká také při důlních požárech vyšších uhlovodíků. Tomuto plynu se nemusí věnovat větší pozornost, když se v důlním plynu vyskytuje v malém množství. Ovšem pokud je jeho podíl větší tak je etan více nebezpečný než metan a to z důvodů prudší exploze a nižší teplotě zápalu.

Oxid uhličitý CO_2 je obsažen v důlním plynu v množství méně než 0,4%. Svými vlastnosti není nebezpečný. Musí se na něj dávat pozor jen z důvodů, že je těžší než vzduch, tím klesá do nižších pater dolu, kde ohrožuje horníky. (knížka důlní plyny)

[4]

2.2 Důlní degazací

Degazace - odčerpávání důlního plynu (karbonského zemního plynu), metanu CH_4 je činnost, která má dva efekty. Jednak z energetického hlediska získání plynu pro další využití (výroba tepla), z hornického hlediska však především odstranění výbušného plynu z důlního díla a zvýšení bezpečnosti v dole, ale i na povrchu.

Důvody pro zavedení degazace

Postupným zvyšování těžby uhlí rostly požadavky na zrychlení důlních prací. Intenzivní dobývání měla za následek větší vývin metanu, který nebylo možné ventilátory zvládnout.

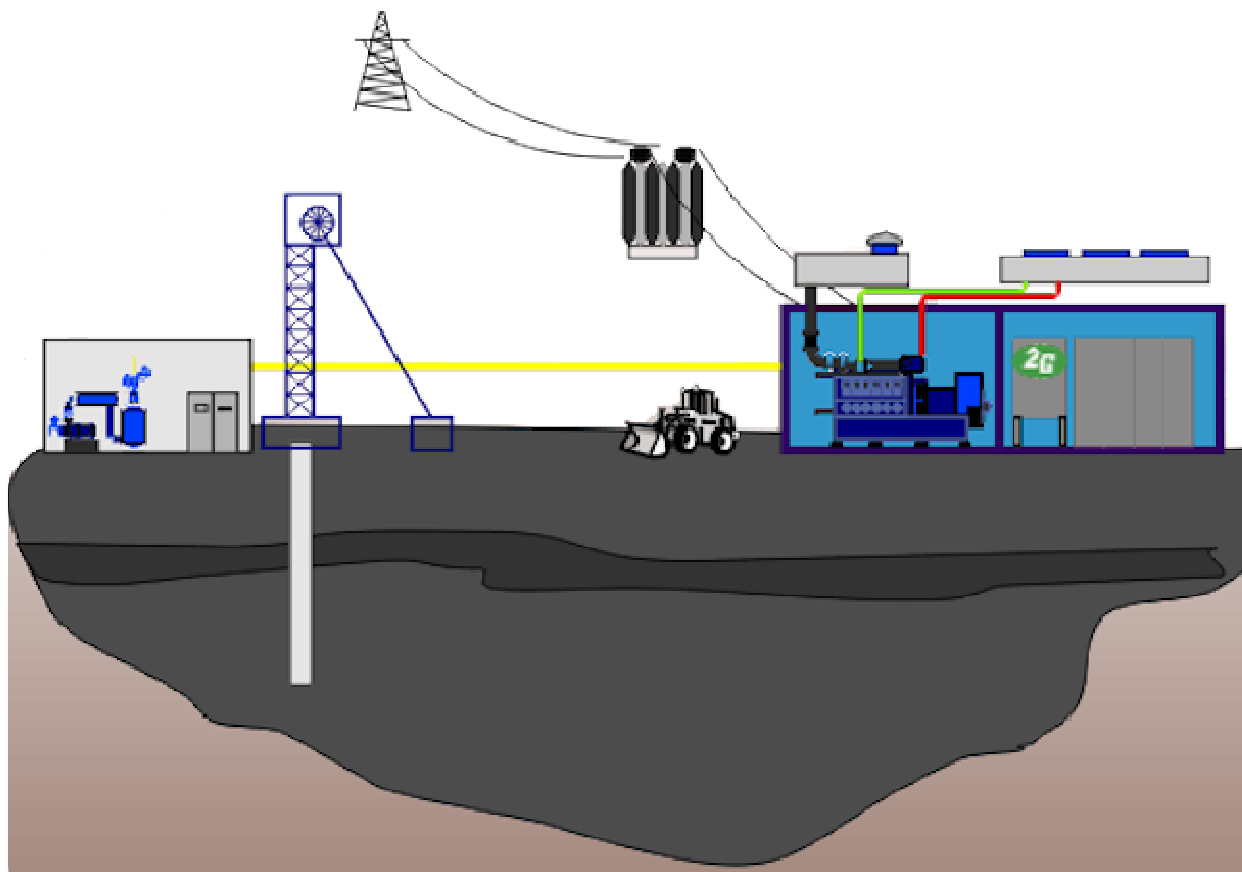
Boj s metanem v uhelných dolech se vyvíjel ve dvou směrech:

- cestou intenzifikace větrání pracovišť, tj. snahou zabránit nahromadění metanu v takové koncentraci, kterou lze považovat za výbušnou
- zavádění takových zařízení, které vylučují možnost zapálení výbušné směsi

Rozdělení degazace

Důlní degazace se rozděluje na degazaci z povrchu a degazaci důlní. Umístění degazační stanice rozlišujeme na:

- povrchová stanice (při centrální degazaci)
- podzemní stanice (při degazaci lokální)
- povrchová dočasná stanice



Obr. 9 Uspořádání kogenerační jednotky

Degazace z povrchu

Degazací z povrchu máme na mysl, že plyn je odváděn vlastním přetlakem z ložiska pomocí navrtaných vrtů. Tento plyn bývá napojen buď přímo, nebo přes kompresní stanici na plynovod. Plyn je dále zpracován v průmyslu nebo se nechá ve spalovacích jednotkách spálit.

Důlní degazace

Důlní degazací rozumíme nucené odsávání metanu z důlních děl pomocí vývěv.



Obr. 10 Odsávací jednotka

Centrální důlní degazace s povrchovou degazační stanicí

Centrální důlní degazace je prováděna odsávání plynu z pohoří a jiných zdrojů, při čemž je degazační stanice umístěna v blízkosti výdušné jámy a veškeré plynovody vyústějí do centrální degazační stanice. Tyto stanice zpravidla současně tlačí debatovaný plyn ke spotřebiteli.

Lokální degazace s podzemní degazační stanicí

Lokální degazační stanice se umísťují blízko výdušné jámy přímo na patře v dole. Používají se v oblastech, kde nejsou potíže s nadměrným uvolněním plynů. Tyto doly nemají zajištěnou centrální degazaci z důvodů neefektivnosti. Odvod plynu z lokální stanice je veden za použití výdušné jámy k výfuku do atmosféry. Tento výfuk musí být vyústěn minimálně 3 metry nad nejvyšší budovou.



Obr. 11 Odsávací stanice

Dočasné degazační stanice na povrchu

Dočasné degazační stanice se používají při hloubení nových důlních děl z povrchu. Stanice slouží k tomu, aby odvedla plyn mimo dno hloubení. Vývěva s elektromotorem je oddělena od místnosti dozorny, kde jsou kontrolní a měřicí přístroje. Debatovaný plyn je vypouštěn do atmosféry.

Vybavení degazační stanice

Takové zařízení slouží hlavně k vytvoření podtlaku v důlním plynovodu v takové výši, aby se mohl plyn pohybovat takovým směrem, kterým chceme. To znamená, aby byl směr proudění plynu ze dna vrtu do degazační stanice. V žádném bodě plynovodu nesmí být tlak vyšší než atmosférický.

Degazační vrty

Degazační vrty jsou prodloužením degazačního plynovodu. Musí proto vyhovovat určitým podmínkám umožňujícím plnění těchto úkolů.

První podmínkou je aby nedošlo k netěsnosti vývrtu a následnému znečištění jinými částicemi důlního ovzduší do vrtu. Druhá podmínka se vztahuje na průměr vrtu, který musí odpovídat množství odsávaného plynu.

Podle umístění degazačních vrtů v důlním prostoru rozlišujeme vrty:

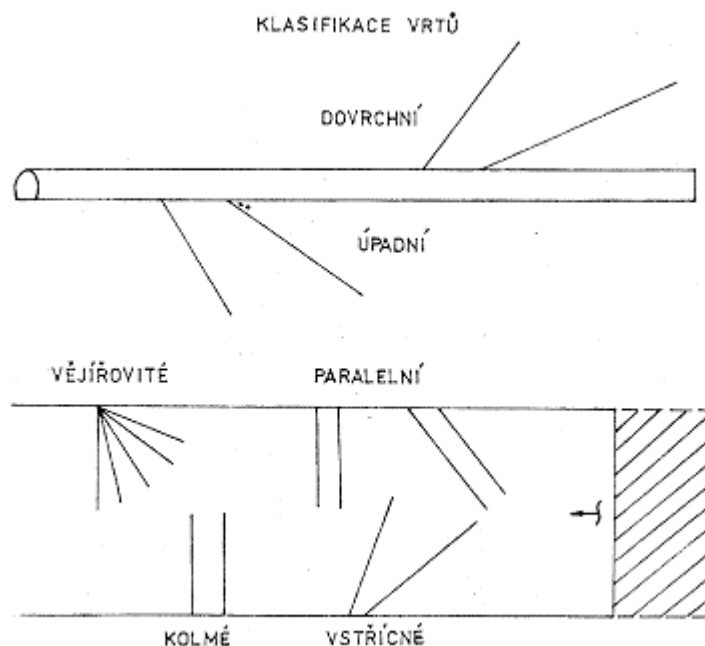
- dovrchní
- horizontální
- úpadní

Podle vzájemné dispozice několika vývrtu rozdělujeme degazační vrty na:

- paralelní
- vějířové
- kombinované

Podle úhlu, který svírají vrty s chodbou, ze které jsou vrtány, hovoříme o vrtech:

- kolmých
- vstřícných



Obr. 12 Klasifikace vrtů

[3]

Degazece konkrétního dolu

Hlavní částí každé degazační stanice jsou vývěvy (plynová čerpadla), odčerpávající důlní plyn bohatý na metan (40 až 55 %) z podzemí dolu, tj. z uhelných bloků, uzavřených chodeb a stařin.

Plyn je z podzemí do degazační stanice odváděn dvěma výdušnými jámami prostřednictvím sacích potrubí v průměrném množství 15 000 m³ / den. Sací potrubí je před vstupem do objektu degazační stanice opatřeno kuličkovým uzávěrem. Sací potrubí má po vstupu do objektu v sobě zabudovávnu měřicí clonu a je napojeno na akumulaci potrubí. To je odvedeno přes zásobník odvodňovače a jsou z něj napojeny jednotlivé vývěvy v počtu 5 ks.

Napojení vývěv je přes bezpečnostní klapky, zpětné klapky a uzávěry s elektropohonem. Na výstupu z vývěv jsou osazeny malé akumulaci nádrže o objemu 1 m³, které jsou napojeny na akumulaci výtlačné potrubí, jež je opět napojeno na zásobník odvodňovače. Vývěvy, zajišťující v sacím potrubí podtlak 20 kPa, jsou do provozu uváděny podle potřeby. Výtlačné potrubí (plynovod) je opatřeno měřicí clonou, vyvedeno mimo objekt degazační stanice, opatřeno kuličkovým uzávěrem a po potrubním mostě je vedeno ke kogenerační jednotce a termické sušárně v areálu dolu a pro další odběratele mimo areál.[19]

2.3 Společnost OKD

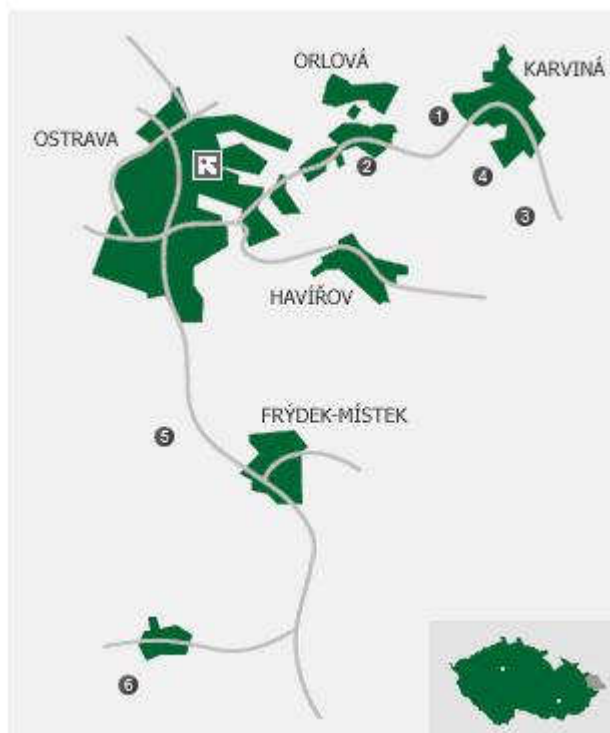
OKD je jediným producentem černého uhlí v České republice. Těží jej v hlubinných dolech v jižní části Hornoslezské uhelné pánve – v Ostravsko-karvinském revíru. OKD vyhledává, těží, upravuje, zušlechťuje a prodává černé uhlí s nízkým obsahem síry a dalších příměsí. Takové uhlí je vhodné palivo, lze ho využít pro koksování a chemický průmysl a v dalších odvětvích.

Základní údaje:

V činnosti:	5 dolů
Mimo provoz:	1 důl
Roční produkce:	cca 11 mil. tun

Tab. 21 Společnost OKD (z www.okd.cz)

Uhlí bývá spojováno s překonanou orientací hospodářství na těžký průmysl, zastaralými provozy a ekologickou zátěží. Ve skutečnosti již nyní roste zájem o kvalitní uhlí použitelné pro hutnictví. Jeho úloha ve světové ekonomice se bude ještě více zvyšovat s ubývajícími zásobami ropy a zemního plynu.



Obr. 13 Doly OKD

Legenda:

Důl Karviná

1. závod ČSA
2. závod Lazy
3. Důl ČSM
4. Důl Darkov
5. Důl Paskov
6. Důl Frenštát (konzervační režim)

Dne 1.4.2008 vznikl sloučením původního Dolu ČSA a Dolu Lazy Důl Karviná, jehož sídlo se nachází 25 kilometrů severovýchodně od Ostravy. Do organizační struktury Dolu Karviná jsou začleněny 2 důlní závody: závod Lazy, Orlová-Lazy a závod ČSA, Karviná-Doly. Druhý uvedený závod je situován ve dvou dobývacích prostorech - DP Karviná Doly I a DP Doubrava u Orlové. V jihozápadní části karvinské dílčí pánve se nachází Závod Lazy. Dobývací prostor tohoto závodu se nachází na katastrech obcí Karviná a Orlová.

Ve východní části karvinské dílčí pánve se nachází Důl ČSM. Je členěn podle území na dvě větrné oblasti sever a jih s dvojicemi úvodních a výdušných jam, které jsou samostatné. Tento důl je členěn na dva těžební závody, důlní závod Sever a důlní závod Jih. V lokalitě sever se nachází úpravna, jež má kapacitu 1100 t za hodinu. V katastrech obcí Stonava, Karviná, Albrechtice a Chotěbuz se nachází dobývací prostor. Živnost dolu se s ohledem na rozsáhlé investiční výstavby v 90. letech a po roce 2000 předpokládá minimálně do roku 2028.

Největším hlubinným komplexem v České republice je momentálně Důl Darkov, který má svou vlastní úpravnu s kapacitou 800 tun za hodinu. Důl zahrnuje tři samostatné dobývací prostory - Darkov, Karviná, Doly II a Stonava. Součástí dolu Darkov jsou dva závody - Darkov a 9. květen.

Cca 20 kilometrů jižně od Ostravy se vytváří z velké většiny kvalitní koksovatelné uhlí, a to v Dole Paskov. Nyní tento důl tvoří pouze závod Staříč. Jde o jediný činný důl v revíru ostravské části. Důl Frenštát je taktéž začleněn do organizační struktury a je udržován v konzervačním režimu. Úpravna má kapacitu 550 tun za hodinu.

[8]

2.4 Využití důlního plynu v konkrétním dole

Výroba tepla z degazovaného plynu v provozu hlubinného dolu

Degazovaný plyn získávaný z důlního pole Dolu č.1 prostřednictvím degazační stanice umístěné v areálu tohoto dolu je dodáván do potrubní sítě - plynovodu (průměr potrubí 150 mm) vlastněné společností Green Gas DPB, a.s., která propojuje všechny hlubinné doly v Ostravsko-karvinském revíru.

Z této sítě je následně degazovaný plyn odebírán pro potřeby výroby tepla. To bývá v prostředí hlubinného dolu využíváno k vytápění, ohřevu TUV, ohřevu koupelové vody ve sprchách, při sušení odvodněného flotačního koncentrátu (termická sušárna uhelných kalů) nebo ohřevu vtažných větrů v zimním období.

Teplo je z degazovaného plynu získáváno buď v kogeneračních jednotkách, vyrábějících elektrickou energii, a nebo v plynových či v uhelných kotelnách. I přes velké množství z podzemí odčerpávaného degazovaného plynu, zůstává totiž uhlí hlavní surovinou pro výrobu tepla potřebného pro důlní a povrchové provozy hlubinného dolu. Degazovaný plyn přispívá v tomto případě, prostřednictvím plynových hořáků v kotlích, pouze ke snížení celkové spotřeby uhlí a pak také ke stabilizaci a rychlejší regulaci výkonu kotlů.

Aby byl výčet zdrojů tepla využitelného v podmínkách hlubinného dolu úplný, je potřeba zmínit i odpadní teplo vznikající při provozu kompresorů stlačeného vzduchu. Podíl tohoto tepla je ovšem v současnosti malý, neboť důlních i povrchových zařízení využívajících stlačený vzduch oproti minulosti značně ubylo. Stroje, jako jsou důlní kombajny, lokomotivy a jiné těžké mechanismy, jsou nyní poháněny elektrickou energií a stlačený vzduch pohání již jen drobné důlní nářadí, vodní čerpadla, separátní ventilátory v prostorách hrozících výbuchem, hrázové dveře, posun důlních vozíků v nárazišti nebo uzavěry u skipových nádob. Současné kompresory stlačeného vzduchu tak nahradily původní výkonné turbo-kompresory.

Teplo, vyráběné měřenou kogenerační jednotkou, je využíváno pouze k ohřevu koupelové vody ve sprchách daného dolu (Důl č.1), a to prostřednictvím deskových výměníků s regulací. Tato voda, ohřívána na 38 °C, se nachází v několika akumulačních nádržích o objemu 5 m³ v horním patře budovy koupelen.

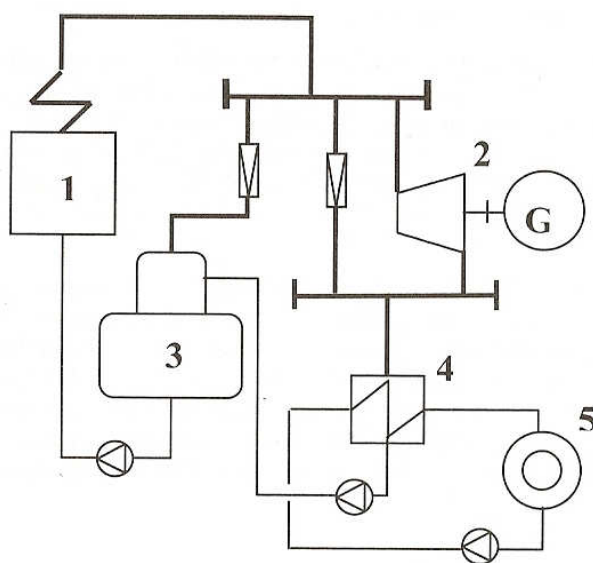
Dalšími odběrateli degazovaného plynu ze sítě společnosti Green Gas DPB, a.s. jsou teplárny a podniky hutního průmyslu na Ostravsku. [19]

3. Kogenerační jednotky spalující důlní plyn

3.1. Kogenerace s parními turbínami a motory

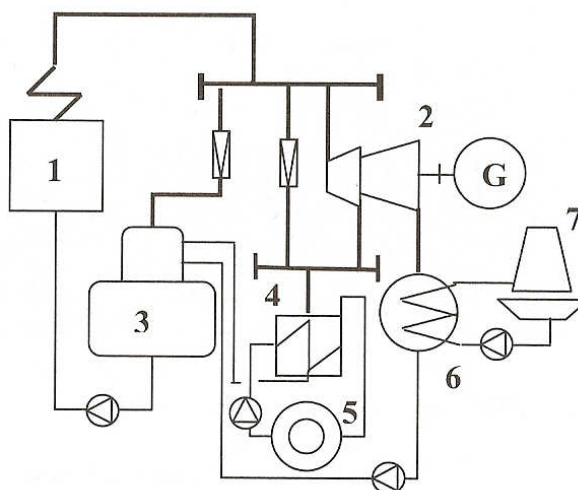
Parní turbíny se používají jako motory pro průmyslová kogeneračních zařízení již několik let. Parní turbína se lze použít jako motor kogeneračního systému a možný dvojí způsob zapojení:

- parní turbína protitlaková (obr. 14)
- Parní turbína kondenzační s odběrem páry pro dodávku tepla spotřebiteli (obr. 15)



Obr. 14 Zapojení protitlakové turbíny

- 1 parní kotel
- 2 parní turbína
- 3 napájecí nádrž
- 4 ohřívač teplé vody
- 5 spotřebič tepla
- 6 kondenzátor
- 7 chladicí věž



Obr. 15 Základní schéma zapojení kondenzační parní turbíny s odběrem páry

Nejjednodušší uspořádání je provedení s protitlakovou turbínou, kde veškerá pára po průchodu turbínou má relativně nízký tlak a slouží k přehřívání páry a dalším teplotním účelům. Tam kde je vyžadován dvoustupňový ohřev topné vody se druhý stupeň ohřevu provádí buď pomocí odběru z turbíny, nebo někdy parou odebíranou přímo z výstupu kotle a redukovanou na požadovaný tlak.

Parní turbíny – vysokotlaká pára se v turbíně mění na mechanickou energii, která pohání alternátor. Výkon turbíny závisí na množství předávající páry a kvalitě páry, která je ovlivněna tlakem vystupujícím z turbíny. Pracovní pára musí mít vysoké parametry, to je – tlak a teplotu. Typické vstupní parametry jsou:

Tlak P (MPa)	Teplota (°C)	Výkon P(MW)
3,5-6,3	450-500	Do 30
Do 16	Do 560	Nad 30

Tab. 3 Rozdělení kondenzačních turbín

Zvyšování vstupních parametrů páry zvyšuje náklady. Velkou výhodou zařízení je spalování jakýchkoliv paliv od plynu, uhlí, odpadů atd. Můžou také spalovat kombinaci těchto paliv. Investiční náklady jsou vysoké z důvodu požadavku páry v zařízení. Parní zařízení mívá ve většině případů malý elektrický výkon na jednotku dodávaného tepla. Také investiční náklady na instalovaný elektrický výkon (Kč/kWe) na tom nejsou nejlépe. Pokud mají kotle a další pracovní zařízení jiný hlavní účel než výrobu páry a její dodávku ke spotřebitelům, pak je zařazení parní turbíny do pracovního okruhu ekonomicky efektivní. To je výhodné pro případ spalovny komunálního odpadu.

Parní turbíny v kogeneračních tepelných zdrojích

Z hlediska výkonu turbíny pro teplárenský účel, lze dělit turbíny na:

- Střední a velké, jednotkového výkonu (nad 25 MW)
- Malého výkonu

Turbíny střední a velké byly v minulosti používány pro teplárenské účely, pro centralizované zásobování městských aglomerací (největší až 300 MWe byly realizované v bývalém sovětském svazu). V České republice se staré neefektivní kondenzační elektrárny přestavují na moderní kogenerační zařízení, aby se zvýšila ekonomická efektivita. Kondenzační výroba elektřiny se omezila a spotřebitelům tepelné energie se dodává teplo ve formě páry nebo horké vody. U většiny kondenzačních elektráren se dodávka tepla realizuje ohříváním teplé vody ve výměňkových stanicích. U moderní decentralizovaných kogeneračních výroben jsou použity parní turbíny menšího výkonu.

Turbíny mohou být:

- Jednostupňové, nebo dvoustupňové
- Vícestupňové

Jednostupňové a dvoustupňové parní turbíny

Pro použité jednostupňové a dvoustupňové parní turbíny jsou průtoky páry a entalpické spáry do cca 400 kJ/Kg. Výběr konstrukčních provedení je následující:

- Axiální turbíny s rovnotlakovým nebo Curtisovým stupněm přímo spojené s elektrickým generátorem (50 ot/s) nebo s převodovkou (převod obvykle 125/25 ot/s);
- Vysokootáčkové axiální turbíny jedno nebo dvoustupňové s integrovanou převodovkou (počet otáček dle průtoku páry 150 až 400 ot/s),
- Vysokootáčkové jedno nebo dvoustupňové radiální turbíny s integrovanou převodovkou (150 až 500 ot/s)
- Jedno nebo dvoustupňové radiální turbíny s vysokootáčkovým generátorem (až 800 ot/s)

Malé požadavky na kvalitu obsluhy a robustní jednoduchá konstrukce dávají turbíně s elektrickým generátorem, spojeným buď přímo, nebo přes převodovku, nižší náklady. Turbíny mají menší termodynamickou účinnost, která klesá s rostoucím entalpickým spádem.

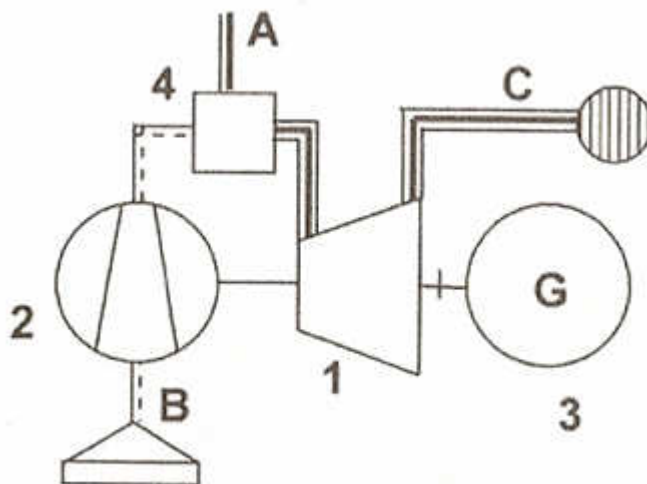
Vysokootáčkové axiální turbíny mají dobrou účinnost, která je ovšem zaplácena zvýšením požadavku na kvalitnější systém řízení a údržby. Celkově jsou tyto turbíny dražší než turbíny spojené přímo s generátorem. Vysokootáčkové radiální turbíny mají podobné vlastnosti jako axiální, ale jsou citlivější na vlhkost páry. Můžou však pracovat s většími entalpickým spády.

Cena výkonově stejné vysokootáčkové radiální turbíny je vyšší než vysokootáčková axiální turbína.

[2]

3.2 Kogenerace se spalovacími turbínami

Princip spalovací turbíny je takový, že přes kompresor se nasává vzduch, který jej stlačuje. Stlačený vzduch dále koluje v otevřeném oběhu do spalovací komory, kde se smíchá s palivem. Vzniklé spaliny o vysoké teplotě a tlaku putují do plynové turbíny. Průchodem turbínou spaliny expandují a jsou odváděny do atmosféry.



Obr. 16 Schéma spalovací turbíny

Spalovací turbíny, které se používají na světovém trhu, mají různé koncepce odvozené od:

- Spalovacích turbín průmyslového typu
- Spalovacích turbín z leteckých proudových motorů

Spalovací turbíny vychází z léty prověřených koncepcí parních turbín. Ve většině případů mají jednu hřídel. Jejich výkonová řada začíná u jednotek megawatt a končí u stovek megawatt. Spalovací turbíny odvozených z leteckých proudových motorů jsou spolu vysokou výkonovou turbínou napojeny přímo na generátor. Konstrukce turbíny bývá odlehčená. V posledních letech se klade důraz na spojení těchto systémů a vytvoření společné spalovací turbíny o spojení výhod obou turbín.

Tepelná účinnost turbín roste s teplotou spalin na výstupu ze spalovací turbíny. Teplota spalin, která se pohybuje v rozmezí 950 - 1250°C u turbín průmyslového typu a u turbín odvozených od

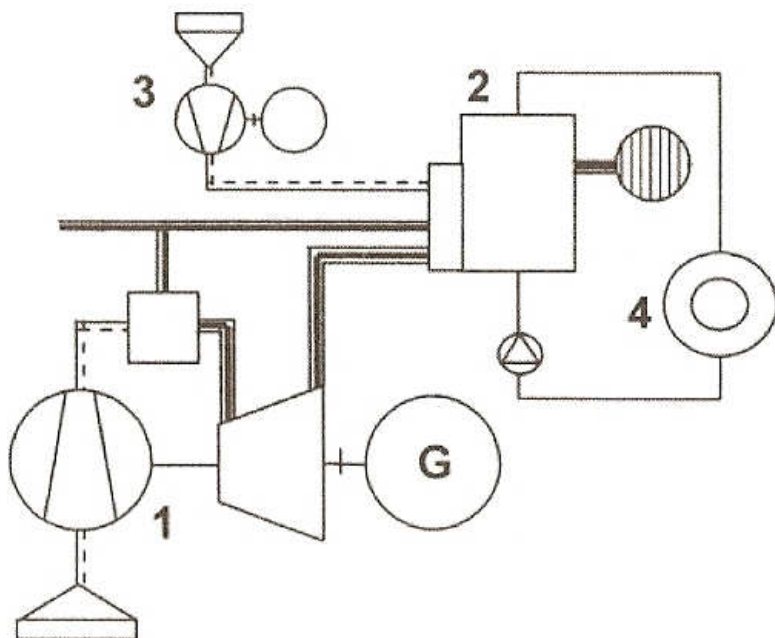
leteckých proudových motorů dosahuje až 1380°C vyžaduje dokonalou konstrukci plynových turbín. Elektrická účinnost se pohybuje v mezích od 20% do 48%, závisí na typu turbíny a na teplotě spalin za spalovací komorou.

Spalovací turbíny jsou montovány na společný rám spolu s alternátorem a předovkou, která opravuje otáčky turbíny potřebné pro alternátor. Zařízení musí mít zvukovou izolaci z důvodů velké hlučnosti při provozu. Zvuková izolace bývá použita i jako izolace požární.

Jako palivo pro tyto turbíny se používá nejčastěji zemní plyn. Jde ale i spalovat i jiné plyny jako odpadní plyny z průmyslu, bioplyny i důlní plyny. Jednou s podmínek spalování těchto plynů je přizpůsobení spalovací turbíny a zbavení plynů od všech mechanických nečistot. Jednou z velkých výhod tohoto spalování je nízký obsah tvorby NO_x . Což se v posledních letech, kdy je ekologii v popředí zájmu, velmi výhodné.

Spalovací turbíny jsou nerozšířenějšími pohonnými motory montovanými do nově vybudovaných kogeneračních jednotek. Spalovací turbíny mají oproti zařízením s vysokotlakými kotli a turbínami několik výhod. Lépe se instalují a uvádí do provozu. S tím spolu souvisí investiční náklady.

Ve spalovací komoře při spalování zbývá ještě dostatek kyslíku, který můžeme využít. Můžeme tedy přitápět spolu s dalším palivem. Toto přidavné spalování nám umožní zvýšit teplotu spalin vyšší než 1000°C . Tím se ale snižuje poměr elektrického a tepelného výkonu. Spaliny na výstupu ze spalovací turbíny se mohou využít k výrobě nebo přenosu tepla nebo také k výrobě páry nebo teplé vody. Na obrázku níže můžeme vidět princip takového zapojení s přitápěním (Obr.17).



Obr. 17 Kogenerační zapojení spalovací turbíny s přitápěním

Mikroturbíny

Mikroturbíny bylo považováno v nedávných letech za ekonomicky efektivní. Z důvodů stálého vývoje a militarismu všech součástí se spalovací turbíny mohli stát konkurenceschopnými. Pracují na stejném principu jako jejich větší parní turbíny. Tlakový poměr je větší než velkých spalovacích turbín ale jeho vstupní hodnoty teploty vzduchu do kompresoru jsou nižší. Mikroturbíny bývají většinou jedno nebo dvouhřídelová na vzduchových ložiscích. Musí být také použit frekvenční měnič z důvodů velkých rychlostí a s následnou úpravou parametrů elektrické energie.

Mikroturbíny se dají umístit v blízkosti spotřeby tepelného výkonu. Jsou vhodné pro hotely, sídliště a jsou taky vhodné pro mobilní kogenerační jednotky. Elektrická účinnost se pohybuje mezi 20 – 30%. Celková účinnost mikroturbín je od 65 až do 80%.

[2]

3.3 Kogenerace se spalovací motory

Spalovací motory použité v kogeneračních jednotkách jsou odvozené od motorů, které se montují do automobilů. Ty se rozdělují podle zapálení směsi paliva na:

- vznětové motory
- zážehové motory

U vznětových motorů dochází k samovolnému zapálení paliva ve válci při vstřiku do horkého stlačeného vzduchu. Účinnost tohoto procesu na hřídeli je 35 až 45%. Moderní motory používají vysoký kompresní poměr a zpožděné zapalování a hoření aby se dosáhlo snížení emisí NO_x.

U zážehových motorů je k zapálení paliva použita elektrická jiskra ve formě svíčky. Účinnost motoru na hřídeli je menší než u vznětových motorů a to 27 – 43%. Jejich výkony ale nejsou tak velké. Zážehové motory s výkonem nad 3MW mají předzápalnou komoru.

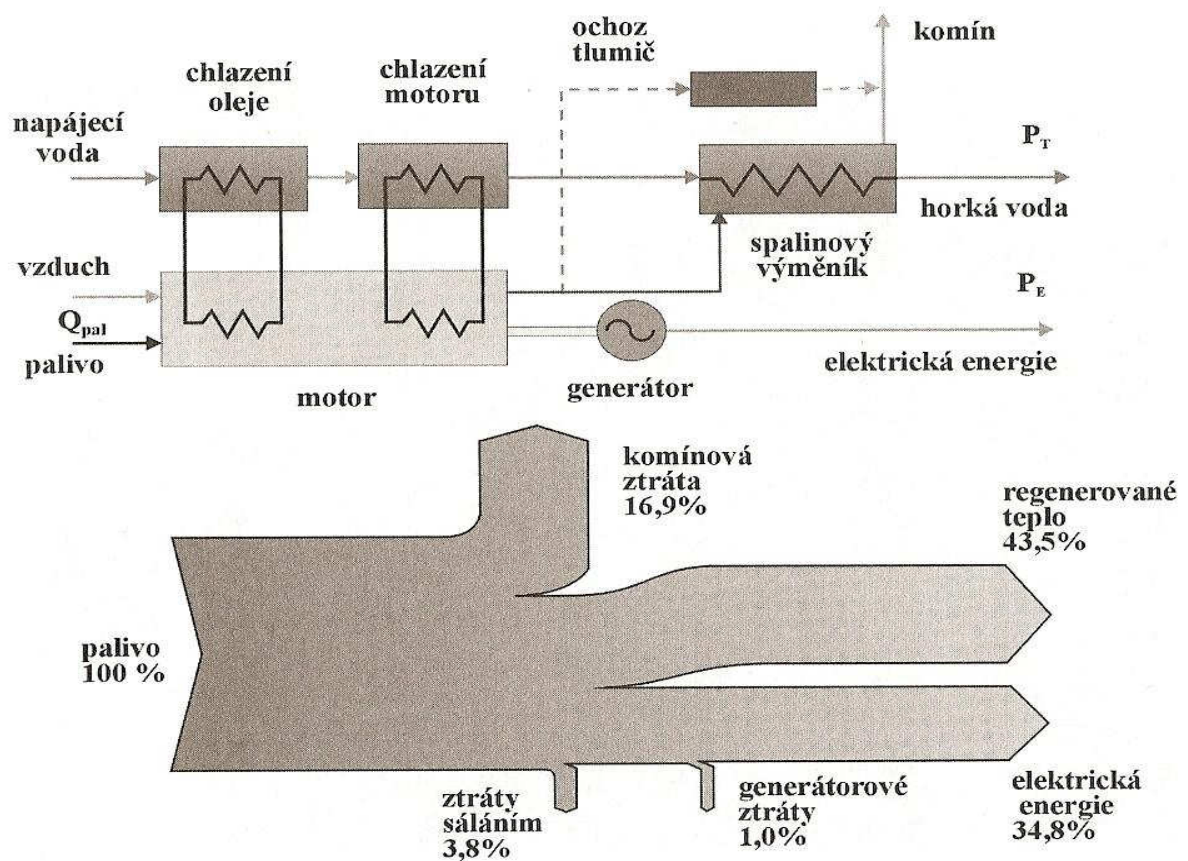
Chceme-li použít spalovací motory pro kogeneraci, musí se motory přizpůsobit. Přizpůsobit se musí především přizpůsobit palivový systém a spalovací prostor. Motory se musí upevnit na antivibrační základ z důvodů vznikajících nevyvážených sil při provozu. Problémem je taky zvuk šířící se nízkofrekvenčním zvukem, na který je lidské ucho velice náchylné. Proto se musí spalovací motory vybavit hlukovou izolací.

Při realizaci jednoho tepelného oběhu se spalovací motory dělí na dvoutaktní a čtyřtaktní. U kogeneračních jednotek se využívá čtyřtaktního pohybu, které lépe splňují požadavky ochrany životního prostředí.[1]

Spalovací motory jsou vhodné k teplotenskému využití. Při pohánění generátoru vznikají odpadní teplo. Odpadní teplo můžeme regenerovat a použít ho pro další technologické procesy (Obr.). energii můžeme využívat z několika míst:

- Výfukových spalin
- chladicí vody motoru
- mazacího oleje motoru
- chlazení kompresoru spalovacího vzduchu

Nejvýhodnější využití odpadní tepla je při teplotě kolem 90 °C, při této teplotě se nemusíme zabývat technologickou složitostí při výrobě páry.



Obr. 18 Schéma KJ se spalovacím motorem

Spalovací motory mohou použít různá plynná a kapalná paliva. Zážehové motory spalují ve většině případů plynná paliva. Nejrozšířenější palivo je zemní plyn, ale motory dokážou spalovat i

jiná plynná paliva včetně důlního plynu. Vznětové motory pracují převážně s kapalnými palivy jako je nafta nebo těžký topný olej. [1]

Při spalování v motorech vzniká několik neškodných látek jako jsou vodní pára nebo oxid uhličitý, ale jednak také látky, které škodí životnímu prostředí. Mezi tyto škodlivé látky patří:

- Oxid uhelnatý (CO)
- Oxidy dusíku (NO a NO_x)
- Nespálené uhlovodíky (HC)

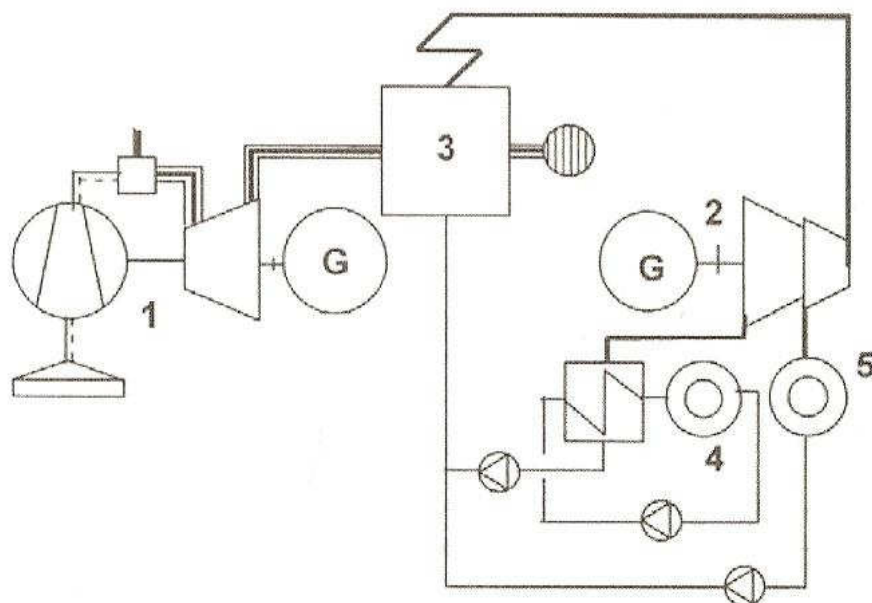
Tyto emise se vyskytují u všech energetických zařízení. Kogenerační jednotky pomáhají snižovat tyto emise. Mezi několik opatření ke snížení emisí patří konstrukční úpravy motorů a provozní opatření. K dalším opatření je použití katalyzátoru. Katalyzátory se používají u menších kogeneračních jednotek. U větších KJ se používá stejně jako u velkých elektráren redukci emisí pomocí čpavku (NH₃).

[2]

3.4 Paroplynová zařízení

Paroplynová zařízení se skládají ze spojitě koncepce spalovací turbíny a pracovního okruhu parní turbíny. Způsob zapojení těchto systému spojí výhody každého z prvků. Zařízení je montováno v nových elektrárnách a nově stavěných plynových tepláren. Paroplynové zařízení se dá použít i pro kogeneraci. Paroplynové zařízení má u nejdokonalejších bloků účinnost přesahující 60%.

Zapojení kogeneračního paroplynového tepelného zdroje je sestaveno ze spalovací turbíny nebo ze spalovacího pístového motoru, parního kotle a parní turbíny. Párou vyrobené teplo z odpadní tepla za turbínou se pohání parní turbína. Jednotlivé propojení paroplynového kogeneračního zdroje se spalovacím motorem vidíme na obr.19.



Obr. 19 Zapojení paroplynového kogeneračního zdroje se spalovací turbínou

Pro dosažení nezávislosti výroby tepla a elektrické energie a zvýšení pružnosti zdroje je vhodné paroplynová zařízení doplnit akumulacími zásobníky teplé vody. Výhody oproti zdroji se spalovacími turbínami jsou vyšší spotřeba elektrické energie a snadnější optimalizace výroby tepelné a elektrické energie. Výhodami paroplynových kogeneračních zdrojů oproti zdroji s parními turbínami jsou následující:

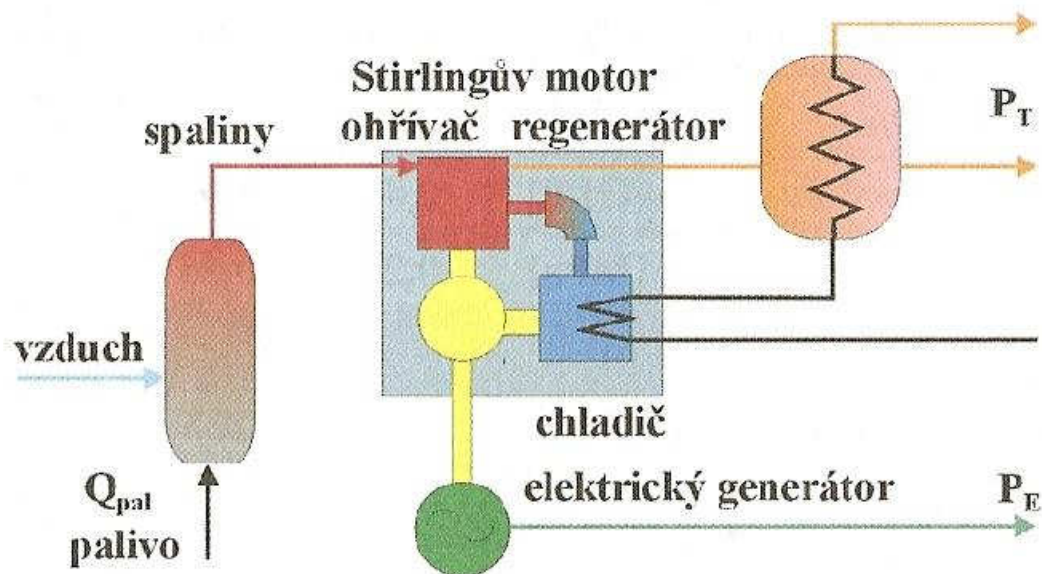
- Zvýšená provozní schopnost
- Větší výroba elektrické energie
- Menší požadavky na prostor
- Nižší měrné investiční náklady
- snadnější optimalizace výroby elektrické energie a tepla

[2]

3.5 Stirlingův motor

Stirlingův motor je znám už od 19. století. Později ale musel ustoupit spalovacím zážehovým motorům. V posledních letech došlo k jeho znovuzrození a zdokonalení a našel místo ve stacionárním provedení a to při kogenerační výrobě elektřiny a tepla.[2]

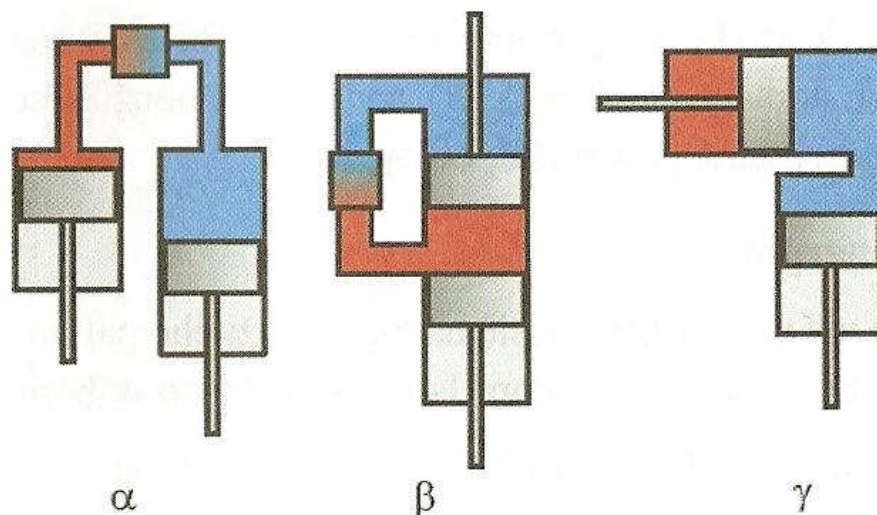
Stirlingův motor pracuje na principu předávání pracovní látky mezi dvěma komorami – studenou a horkou. Je to pístový motor a má vnější spalování, ve kterém se tepelná energie předává pracovní látce tepelného oběhu (Obr. 20). Pracovní látka bývá nejčastěji helium, vzduch, dusík nebo oxid uhličitý. Látka je stlačována v kompresním prostoru a expanduje v horkém válci. Teplo není přeměněno na mechanickou práci hřídele, je odváděno chladicí vodou ve studeném tepelném výměníku (chladiči). Plyn postupuje z horké zóny do chladiče a zpět pomocí regenerátoru.



Obr. 20 Schéma kogenerační jednotky se Stirlingovým motorem

Stirlingův motor není vybaven jako spalovací motory zapalovacím zařízením, protože nemá explozivní spalování. Vyrábějí se tři typy konstrukčního typu:

- alfa α – dva válce osově souměrné
- beta β – dva písty v jednom válci
- gama γ – dva válce osově nesouměrné



Obr. 21 Typy Stirlingova motoru

Jednotky se stirlingovým motorem mají výkony od 0,1 – 1,5 MW_e pro spalování biomasy. Tyto jednotky mají uplatnění u malých nebo mobilních staveb (domácnosti, lodě, přechodná pracoviště). Motor má nízkou hodnotu hluku, proto se dá využít u těchto zařízení. Pro kogenerační zapojení se odvádění tepla provádí buď přímo z tepelného zdroje, nebo s využitím chladicího média motoru a tepla odcházejícího z ohřívače. Jako palivo pro stirlingův motor lze použít jakékoliv palivo, ale je vhodné používat méně kvalitní paliva.

[1]

4. Vliv konkrétní kogenerační jednotky na distribuční soustavu

4.1 Parametry sítě podle Normy ČSN 50160

4.1.1 Vysokonapěťové napájecí charakteristiky

Odběratelé, kteří se nespokojí s parametry sítě nízkého napětí, je zajištěna dodávka elektrické energie z pravidla dohodnutým napájením vyšším než 1 kV. Norma ČSN EN 50160 se vztahuje na takoveto dodávky elektrické energie při dohodnutém napětí až do 35 kV

4.1.2 Kmitočet sítě

Jmenovitý kmitočet napájecího napětí musí být 50 Hz. Za normálních provozních podmínek musí být střední hodnota kmitočtu základní harmonické měřená v intervalu 10 s v následujících rozsazích

- u systémů se synchronním připojením k propojenému systému
50 Hz ± 1 % (tj. 49,5 Hz ... 50,5 Hz) během 99,5 % roku,
50 Hz + 4 %/- 6 % (tj. 47 Hz ... 52 Hz) během 100 % času
- u systémů bez synchronního připojení k propojenému systému (tj. ostrovní napájecí systémy)
50 Hz ± 2 % (tj. 49 Hz ... 51 Hz) během 95 % týdne,
50 Hz ± 15 % (tj. 42,5 Hz ... 57,5 Hz) během 100 % času.

4.1.3 Velikost napájecího napětí

Velikost napájecího napětí je dána dohodnutým napájecím napětím U_c .

4.1.4 Odchylky napájecího napětí

Za normálních provozních podmínek, s vyloučením přerušení napájení, musí být během každého týdne 95 % průměrných efektivních hodnot napájecího napětí v měřicích intervalech 10 minut v rozsahu $U_c \pm 10$ %.

Rychlé změny napětí

4.1.5 Velikost rychlých změn napětí

Spínáním v síti odběratelů nebo změnou zatížení v instalacích jsou způsobeny rychlé změny napájecího napětí. Za normálních provozních podmínek rychlé změny napětí všeobecně nepřekračují hranici 4 % U_c , za určitých okolností se však mohou několikrát denně vyskytnout změny až do 6 % U_c .

4.1.6 Míra vjemu flikru

Za normálních provozních podmínek musí být po 95 % času, v libovolném týdenním období, dlouhodobá míra vjemu flikru $P_{lt} \leq 1$.

4.1.7 Krátkodobé poklesy napájecího napětí

Zkratky v zařízení odběratelů a ve veřejné distribuční síti obecně způsobují krátkodobé poklesy. Podle typu rozvodné sítě a bodu sledování se značně mění jejich četnost výskytu za rok. Taktéž může být jejich rozložení během roku velmi nepravidelné.

Směrné hodnoty:

Během roku může být očekávaný počet poklesů napětí za normálních provozních podmínek od několika desítek až do jednoho tisíce. Většina krátkodobých poklesů napětí má dobu trvání kratší než 1 sekunda a hloubku poklesu menší než 60 %. Občas se však mohou vyskytnout krátkodobé poklesy napětí s větší hloubkou a dobou trvání. Velmi často vyskytovat krátkodobé poklesy napětí, v některých oblastech s hloubkou poklesu mezi 10 % až 15 % U_c jako následek spínání zatížení v instalacích odběratelů.

4.1.8 Krátkodobá přerušení napájecího napětí

Směrné hodnoty:

Roční výsky krátkodobých přerušení napájecího napětí je za normálních provozních podmínek v rozsahu od několika desítek až do několika stovek. Přibližně 70 % krátkodobých přerušení bývá kratší než 1 s.*

* V některých dokumentech se vychází z toho, že krátkodobá přerušení trvají do jedné minuty. Někdy se však pro vyloučení dlouhodobých přerušení napětí používá řízené přerušení dodávky na tři minuty.

4.1.9 Dočasná přepětí o síťovém kmitočtu mezi živými vodiči a zemí

Dočasná přepětí o síťovém kmitočtu se obecně vyskytnou během zemních poruch ve veřejné distribuční síti nebo v zařízeních odběratele a mizí okamžitě s odstraněním poruchy. Očekávané hodnoty těchto přepětí závisí na způsobu uzemnění sítě. V sítích s účinně uzemněným uzlem nebo uzemněným přes impedanci přepětí obvykle nepřekročí 1,7 U_c. V soustavách izolovaných nebo uzemněných rezonančně přepětí všeobecně nepřekročí 2,0 U_c. Způsob uzemnění uzlu volí distributor elektřiny.

4.1.10 Dlouhodobá přerušení napájecího napětí

Obvykle jsou poruchová přerušení napětí způsobena vnějšími událostmi nebo vlivy, jimž dodavatel nemůže předcházet. Typické hodnoty nelze pro roční četnost a doby trvání dlouhodobých přerušení udat. Tato situace je způsobena velkými rozdíly v uspořádání a struktuře elektrických sítí a rovněž nepředvídatelnými dopady povětrnosti a třetích stran.

Směrné hodnoty:

Roční četnost přerušení napětí může být za normálních provozních podmínek delších než tři minuty menší než 10, avšak v závislosti na oblasti může dosahovat až 50. Jelikož se tato přerušení ohlašují v předstihu, směrné hodnoty se pro plánovaná dohodnutá přerušení neuvádějí.

4.1.11 Dočasná přepětí o síťovém kmitočtu mezi živými vodiči a zemí

Obecně se dočasné přepětí síťového kmitočtu objevuje během zemních poruch ve veřejné distribuční síti nebo v zařízení odběratele, a jakmile je porucha odstraněna, zmizí. Na způsobu uzemnění sítě jsou závislé očekávané hodnoty takovýchto přepětí. V sítích s uzemněným uzlem nebo uzemněným přes impedanci, přepětí všeobecně nepřekročí 1,7 Uc. V soustavách izolovaných nebo uzemněných rezonančně, přepětí všeobecně nepřekročí 2,0 Uc. Způsob uzemnění uzlu sítě sdělí distributor elektřiny.

4.1.12 Přechodná přepětí mezi živými vodiči a zemí

Spínání nebo úder blesku v rozvodných sítích VN způsobují přechodná přepětí buď přímo, nebo indukcí. Spínací přepětí mají obvykle nižší vrcholovou hodnotu než přepětí atmosférické, mohou však mít kratší dobu čela anebo delší dobu trvání.

4.1.13 Nesymetrie napájecího napětí

Za obvyklých provozních podmínek musí být v jakémkoliv týdenním intervalu 95 % desetiminutových středních hodnot zpětné složky napájecího napětí v rozsahu 0 % až 2 % složky sousledné. V některých oblastech se může vyskytnout nesymetrie až 3 %.

4.1.14 Harmonická napětí

Za normálních provozních podmínek musí být v libovolném týdenním období 95 % desetiminutových středních efektivních hodnot každého jednotlivého harmonického napětí menší nebo rovno hodnotě uvedené v tabulce 4. U jednotlivých harmonických mohou rezonance způsobit napětí vyšší. Mimoto celkový činitel zkreslení THD napájecího napětí (zahrnující všechny harmonické až do řádu 40) musí být menší nebo rovný 8 %. U jednotlivých harmonických však může rezonance způsobit vyšší napětí.

Řád harmonické h	Harmonické lichého řádu mimo násobky 3 [%]	Řád harmonické h	Harmonické lichého řádu násobky 3 [%]	Řád harmonické h	Harmonické sudého řádu [%]
5	6	3	5*	2	2
7	5	9	1,5	4	1
11	3,5	15	0,5	6...24	0,5
13	3	21	0,5	-	-
17	2	-	-	-	-
19	1,5	-	-	-	-
23	1,5	-	-	-	-
25	1,5	-	-	-	-

Tab. 4 Hodnoty jednotlivých harmonických napětí v předávacím místě v procentech U_n pro řády harmonických až do 25

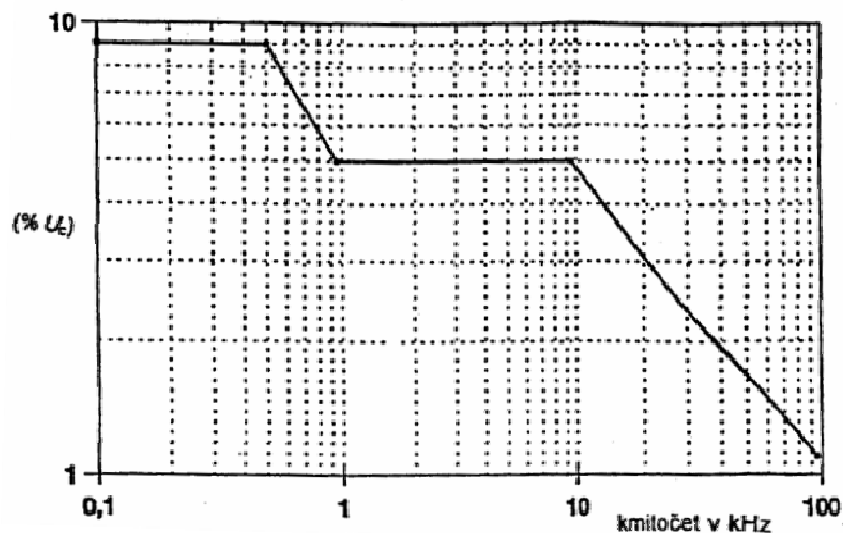
* V závislosti na druhu sítě mohou být hodnoty třetí harmonické podstatně nižší. Úrovně pro harmonické vyšších řádů než 25 se neuvádějí, protože jsou velmi malé, ale díky vlivu rezonančních jevů obtížně předvídatelné.

4.1.15 Meziharmonická napětí

S vývojem měničů kmitočtu a podobných zařízení hladina meziharmonických zvyšuje. Hodnoty se v současné době studují a získávají se další zkušenosti. V určitých případech způsobují meziharmonické i nízkých úrovní flickr (viz 4.1.2) nebo rušení v systémech hromadného dálkového ovládání.

4.1.16 Napětí signálů v napájecím napětí

V některých zemích využívají veřejnou distribuční síť k přenosu informací. Střední hodnota napětí signálu měřeného po dobu tří sekund musí být po dobu 99 % dne menší nebo rovná hodnotám daným v obrázku 2. Pro kmitočty od 9 kHz do 95 kHz se hodnoty připravují.



Obr. 22 Úrovně napětí na kmitočet signálu v procentech U_L ve veřejných distribučních sítích VN

[14]

4.2 Pravidla pro provoz zdrojů se sítí PDS

Provozovatel distribuční sítě (PDS) potřebuje zajistit technickými opatřeními zabránění zavlečení zpětného napětí do sítě. To se provádí pouze když jsou všechny fáze pod napětím. K připojení do sítě může být připojeno zařízení buď za použití spínače, který spojuje zařízení se sítí nebo takový spínač, který spojuje generátor popř. více paralelních generátorů se zbylým zařízením odběratele. Pro zapnutí vazebního spínače musí být splněna taková podmínka, že na každé fázi musí být minimálně napětí, které je větší než nastavená rozběhová hodnota podpěťové ochrany.

Zvýšení napětí

Zvýšené napětí, které se může objevit provozem připojených výroben nesmí v nejnepríznivějším případě (přípojném bodu) překročit 2 % pro zařízení s přípojným místem v síti vn a 110 kV ve srovnání s napětím bez jejich připojení

$$\Delta u_{vn} \leq 2\% \quad (2)$$

pro výroby s přípojným místem v síti nn nesmí překročit 3 %, tedy

$$\Delta u_{nn} \leq 3\% \quad (3)$$

Při posuzování připojitelnosti zařízení se prokazuje z neutrálního účinku v předávacím místě do DS, pokud PDS vzhledem k místním podmínkám (bilance jalové energie, napětí v síti) nestanoví jinak. V tomto případě je pak potřeba doložení podrobnějšími výpočty bilanci ztrát v síti bez zdroje a při jeho provozu.

Změny napětí při spínání

Změny napětí ve společném napájecím bodě způsobené spínáním zařízení nesmí vyvolat nepřipustné zpětné vlivy. Největší změna napětí pro zařízení s předávacím místem v síti nn nesmí překročit 3%

$$\Delta u_{\max nn} \leq 3\% \quad (4)$$

Pro zařízení s předávacím místem v síti vn platí

$$\Delta u_{\max vn} \leq 2\% \quad (5)$$

Při velmi malých četnostech spínání např. jednou denně, může PDS dovolit větší změny napětí, pokud to dovolí poměry v síti.

Současně je zapotřebí zamezit spínání více zařízení v jeden okamžik. Řešení jednotlivých spínání je časové odstupňování.

Zpětné vlivy na napájecí síť

Z důvodů rušení zařízení jiných odběratelů a provozování zařízení PDS je potřeba omezit zpětné vlivy místních výroben. Při posuzování těchto vlivů je třeba vycházet ze zásad pro posuzování zpětných vlivů a jejich přípustných mezí.

Při poměru zkratového výkonu sítě S_{kV} ke jmenovitému výkonu celého zařízení S_{rA} je větší než 500, mohou být výroby připojeny bez další kontroly.

Pro jednotlivá připojení jedné nebo více vlastních výroben v jednom společném napájecím bodu je třeba vycházet z následujících mezních podmínek:

Změna napětí

$\Delta U \leq 3 \% U_n$ (pro společný napájecí bod v síti nn)

$\Delta U \leq 2 \% U_n$ (pro společný napájecí bod v síti vn a 110 kV).

Dlouhodobý flickr

Pro jednotlivá připojení jedné nebo více výroben v jednom předávacím místě je zapotřebí se zřetelem na kolísání napětí vyvolávající flickr dodržet ve společném napájecím bodě nn a vn mezní hodnotu

$$P_{lt} \leq 0,46$$

ve společném napájecím bodě 110 kV mezní hodnotu

$$P_{lt} \leq 0,37$$

Proudy harmonických

Harmonické vznikají především u zařízení, které obsahuje střídače nebo měniče frekvence. Harmonické proudy emitované těmito zařízeními musí udat výrobce, např. zprávou o typové zkoušce.

Výroby v síti vn

Pro jediné předávací místo v síti vn lze stanovit celkové v tomto bodě přípustné harmonické proudy ze vztažných proudů $I_{vp\check{r}}$ z TAB.5 násobených zkratovým výkonem ve společném napájecím bodu

$$I_{vp\check{r}} = i_{vp\check{r}} \cdot S_{kV} \quad (6)$$

Pokud je ve společném napájecím bodu připojeno několik zařízení, pak se určí harmonické proudy přípustné pro jednotlivá zařízení násobením poměru zdánlivého výkonu zařízení S_A k celkovému připojitelnému nebo plánovanému výkonu S_{AV} ve společném napájecím bodu

$$I_{v\ p\check{r}} = I_{v\ p\check{r}} \cdot \frac{S_A}{S_{AV}} = i_{v\ p\check{r}} \cdot S_{kV} \cdot \frac{S_A}{S_{AV}} \quad (7)$$

U zařízení sestávajících z jednotek stejného typu lze za S_A dosadit ΣS_{nE} . To platí též pro větrné elektrárny. U zařízení z nesterýných typů jde pouze o odhad.

Celkově přípustné harmonické proudy pro síť vn, vztažené na zkratový výkon, které jsou způsobeny zařízením přímo připojeným do této sítě, jsou uvedeny v TAB.5.

Pro harmonické s řady násobků tří jsou v platnosti hodnoty v TAB.5 pro nejbližší řád, a to pouze, pokud se nulová složka proudů z výroby neuzavírá do sítě. Pokud jsou překročeny mezní proudy harmonických, pak je potřeba provést podrobnější výpočet harmonických. Měření proudů harmonických a meziharmonických se musí provádět podle ČSN EN 61000-4-7 ed.2.

Řád harmonické μ, v	Přípustný vztažný proud harmonických $i_{\mu, v\check{p}\check{r}} [A/MVA]$		
	síť 10 kV	síť 22 kV	síť 35 kV
5	0,115	0,058	0,033
7	0,082	0,041	0,023
11	0,052	0,026	0,015
13	0,038	0,019	0,011
17	0,022	0,011	0,006
19	0,016	0,009	0,005
23	0,012	0,006	0,003
25	0,01	0,005	0,003
>25 nebo sudé	0,06/	0,03/	0,017/
$\mu < 40$	0,06/	0,03/	0,017/
$\mu > 40$	0,16/	0,09/	0,046/

Tab. 5 Celkově přípustné harmonické proudy pro síť vn

Ovlivnění zařízení HDO

Ovlivnění zařízení HDO, tedy signálu vysílaného z zařízení do přípojnice, plyne z:

- vlastního zařízení výroby
- zvýšeného zatížením sítě, které je v důsledku výroby k síti připojeno.

V těchto případech se posuzuje vliv výroby na zatížení vysílače HDO. Vychází se ze zatížení a jmenovitého proudu PDS. Limitní zvýšení zatížení vysílače do 110 kV a vn je 5 % jmenovitého proudu. Výroby připojované k síti mimo přípojnicí do níž se vysílá signál HDO může způsobit snížení úrovně signálu HDO maximálně o 5% za předpokladu, že bude splněna minimální

přípustná úroveň signálu HDO určená měřením. Tato úroveň musí být zaručena i při mimořádných zapojeních sítí.

[15]

4.3 Popis kogenerační jednotky

Základní charakteristika

Mezi stroje středních a vyšších výkonů od 550 do 2020 kW se řadí kogenerační jednotky TEDOM řady Quanto. K instalaci do strojovny je určena vlastní kogenerační jednotka Quanto D2000, tvořená několika částmi. Jedním z modulů motorgenerátoru je ten, který obsahuje soustrojí motoru s generátorem s protihlukovým krytem. Toto soustrojí je umístěno na základovém rámu. Součástí je také

- a) volně dodaný tlumič výfuku k volné zástavbě do spalínovou strojovny
- b) volně stojící elektrické rozvaděče
- c) Plynová trasa určená k zástavbě do plynovodu.

KJ Quanto D2000 je v provedení SP se synchronním generátorem určená pro paralelní provoz se sítí : 400V/50 Hz. Teplovodní okruhy jsou přizpůsobeny teplotnímu spádu 90/70°C.

KJ plní emisní limity ve smyslu nařízení vlády ČR č. 146/2007Sb.



Obr. 23 Konkrétní kogenerační jednotka

Motor a generátor

K pohonu jednotky je použit plynový spalovací motor, výrobek firmy MWM, Německo. Zdrojem elektrické energie je dvouložiskový synchronní generátor, výrobek firmy Marelli, Itálie. Krátký popis spalovacího motoru je uveden níže.

Možnosti provedení

Standardně se kogenerační jednotky TEDOM dodávají v blokovém kompaktním provedení s protihlukovou kapotou i bez kapoty, v kontejneru či v provedení na přání zákazníka.

K instalaci do budov je určeno hlavně provedení s protihlukovou kapotou. Jeho předností je rychlost instalace a nízká hlučnost. Je také nejprodávanější variantou kogeneračních jednotek TEDOM. Pro vnitřní instalace do odhlučněné strojovny je určena jednoduchá konstrukční koncepce bez protihlukové kapoty. K venkovním instalacím mimo obytné či průmyslové budovy je určeno kontejnerové provedení. Snadná instalace a odolnost proti povětrnostním podmínkám jsou jeho hlavní výhodou.

Taktéž lze provedení kogenerační jednotky přizpůsobit individuálním požadavkům zákazníka. Jedná se např. o oddělení tepelného modulu od modulu motorogenerátoru, používané u kogeneračních jednotek větších výkonů.[10]

Parametry kogenerační jednotky	
Typ generátoru	synchronní
Výrobce	Marelli Motori
Jmenovitý výkon	1960 kVA / 1600kW
Jmenovité napětí	400V
Spalovací motor	Deutz TCG 2020 V16
Kogenerační jednotka	Tedom Quanto C2000 SP
Transformátor	2000 kVA, 22/0,4 kV, 6%

Tab. 6 Parametry kogenerační jednotky

Spalování motor Deutz TCG

Spalovací motory bývají v provedení 12, 16, 20 válců. Mají vzduchové přeplňování a dvoufázové chlazení. Každý válec má 4 ventily. Motory mají centrálně uspořádané zapalování se samostatným chlazením svíček. Systém zapalování je řízený mikroprocesorem. Využívá cívku k zapálení v každém válci. Systém TEM pomáhá k elektronickému ovládání a monitoringu motoru. Emise výfukových plynů se kontrolují pomocí teploty ve spalovací komoře.

Tento spalovací motor má hned několik zásadních výhod oproti konkurenci.

Mezi hlavní výhody patří:

- Příznivé investiční a provozní náklady
- Nízká spotřeba energie pro vlastní provoz
- Dlouhé servisní intervaly a snadný záruční servis
- Efektivní přeměna energie s vynikající účinností
- Mezichlazení umožňuje maximální výkon i při spalování plynu s nízkým obsahem metanu
- Spolehlivé ovládání a monitoring s vysokými standarty bezpečnosti zajišťuje optimální spalování a maximální ochranu motoru
- Práce se zařízením je snadné a pohodlné

[11]

Parametry spalovacího motoru	
Výkon	1600 kW
Otáčky motoru	1500 ot/min
Účinnost generátoru	97,20%
Elektrická účinnost	41,80%
Tepelná účinnost	44%
Celková účinnost	85,80%
Rozměry	5700 x 1750 x 2500 mm
Hmotnost	5800 Kg

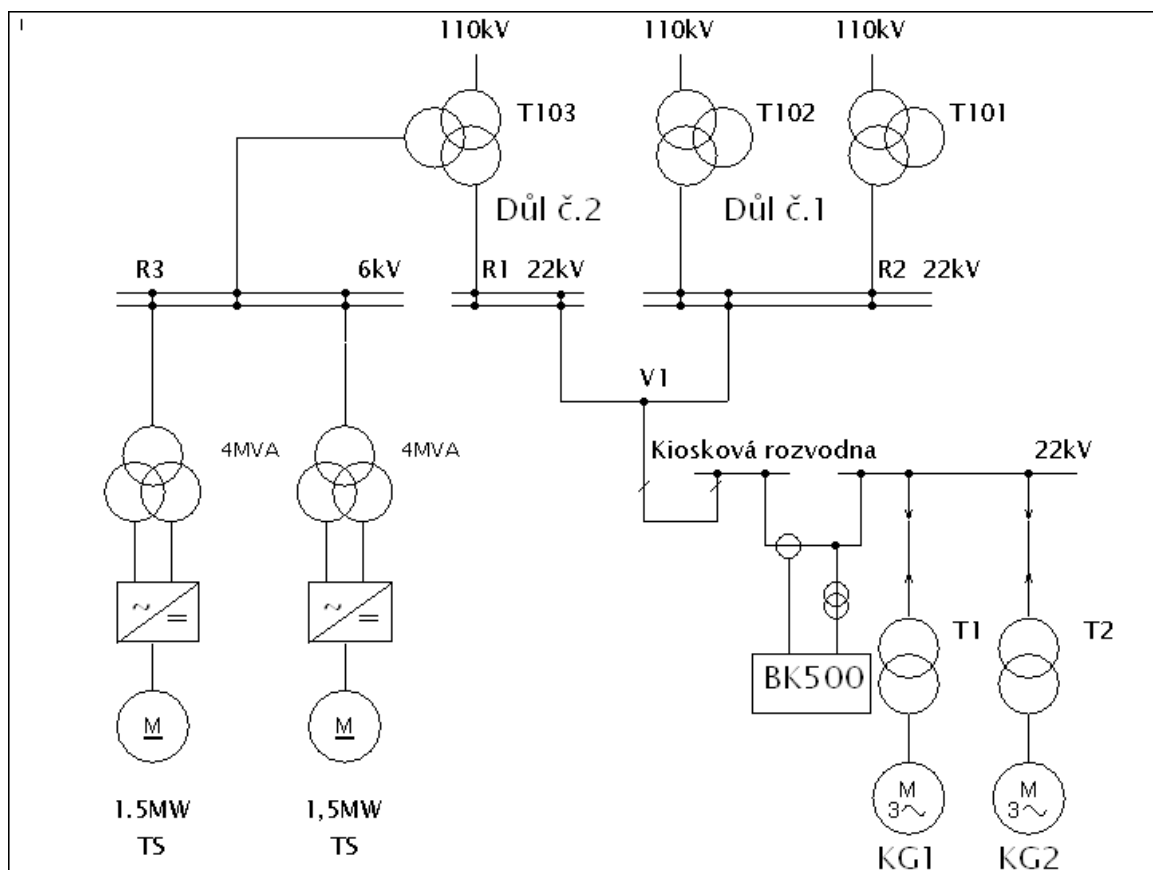
Tab. 7 Parametry spalovacího motoru



Obr. 24 Spalovací motor kogenerační jednotky

4.4 Analýza naměřených dat

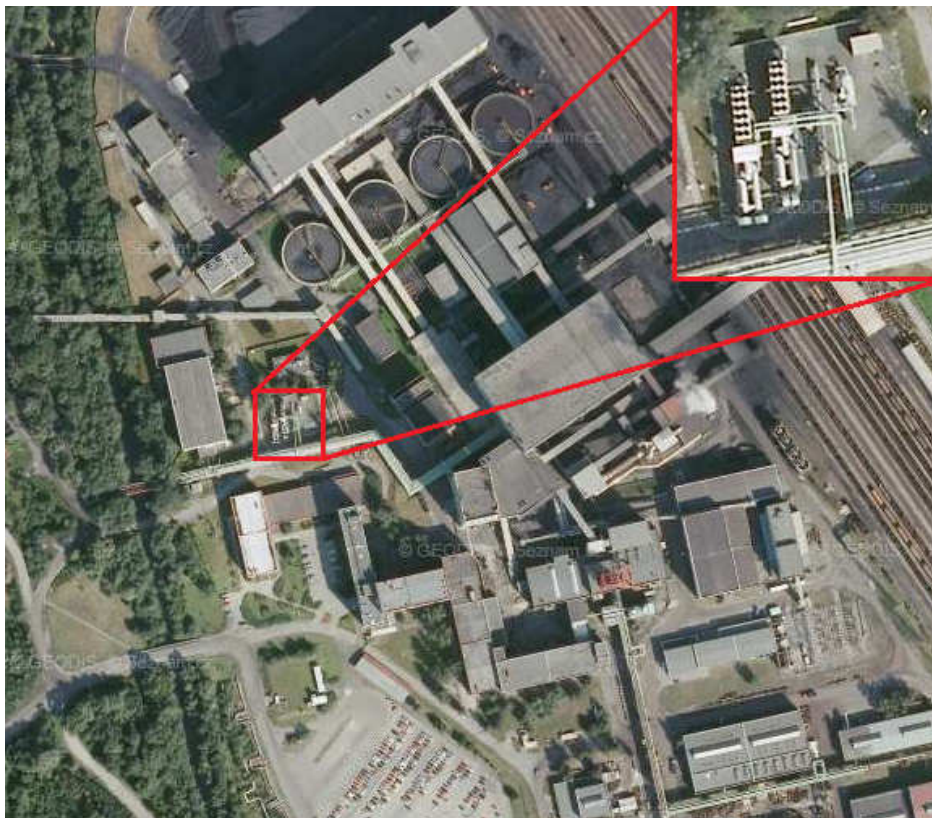
Pro výběr analýzy popisují kogenerační jednotky, které se nachází v lokalitě Ostravsko-karvinském revíru. Dvě kogenerační jednotky jsou zapojeny do lokální distribuční soustavy 22 kV dle schématu na obrázku č. 25. Jsou připojeny odbočkou z venkovního vedení V1, přes skříňový rozvaděč 22 kV umístěný v kioskové rozvodně. Vedení V1 je připojeno na rozvodnice R1 a R2. Z provozních důvodů je vedení V1 a rozvodnice R2 trvale odpojeno. Každá KJ má samostatný transformátor T1, T2 (22/0,4 kV, 2 MVA). Rozvodnice R1 je vedení V1 napájeno z vinutí 22 kV transformátoru T103 (110/23/6,3 kV, 40 MVA) z vinutí 6 kV stejného transformátoru jsou napájeny regulované pohony těžních strojů.



Obr. 25 Schéma zapojení kogenerační jednotky do lokální distribuční sítě

Měřicí místo

Kogenerační jednotky jsou umístěny v areálu dolu č. 2. Měření bylo provedeno pomocí síťového analyzátoru ENA300. Měření provedl pracovník firmy ELCOM a.s. Analyzátor byl umístěn v kioskové rozvodně, kde byly zapojeny napěťové a proudové okruhy. Krátký popis síťového analyzátoru je uveden níže.



Obr. 26 Umístění kogenerační jednotky v lokalitě dolu

Popis Analyzátor sítí BK-ELCOM v provedení ENA300

Charakteristika výrobku:

Síťový analyzátor ENA300 byl zkonstruován jako cenově přístupné řešení do školních a univerzitních laboratoří. ENA300 má dvě části:

- programovatelný modul úpravy signálu (pro 4 napětí a 4 proudy)
- 16-bitový A/D převodník s USB rozhraním

Model ENA300 nemá vestavěnou procesorovou jednotku a proto musí být připojen přes USB rozhraní k PC s operačním systémem Windows XP nebo Windows Vista na kterém je

spuštěn firmware analyzátoru (PNApost v našem případě). K tomuto modelu se používá stejný firmware jako u celé série analyzátorů řady ENA, proto poskytuje firma ELCOM funkčnost a přesnost měření jako u jakýkoliv jiného model ENA.

[12]



Obr. 27 Síťový analyzátor ENA 330

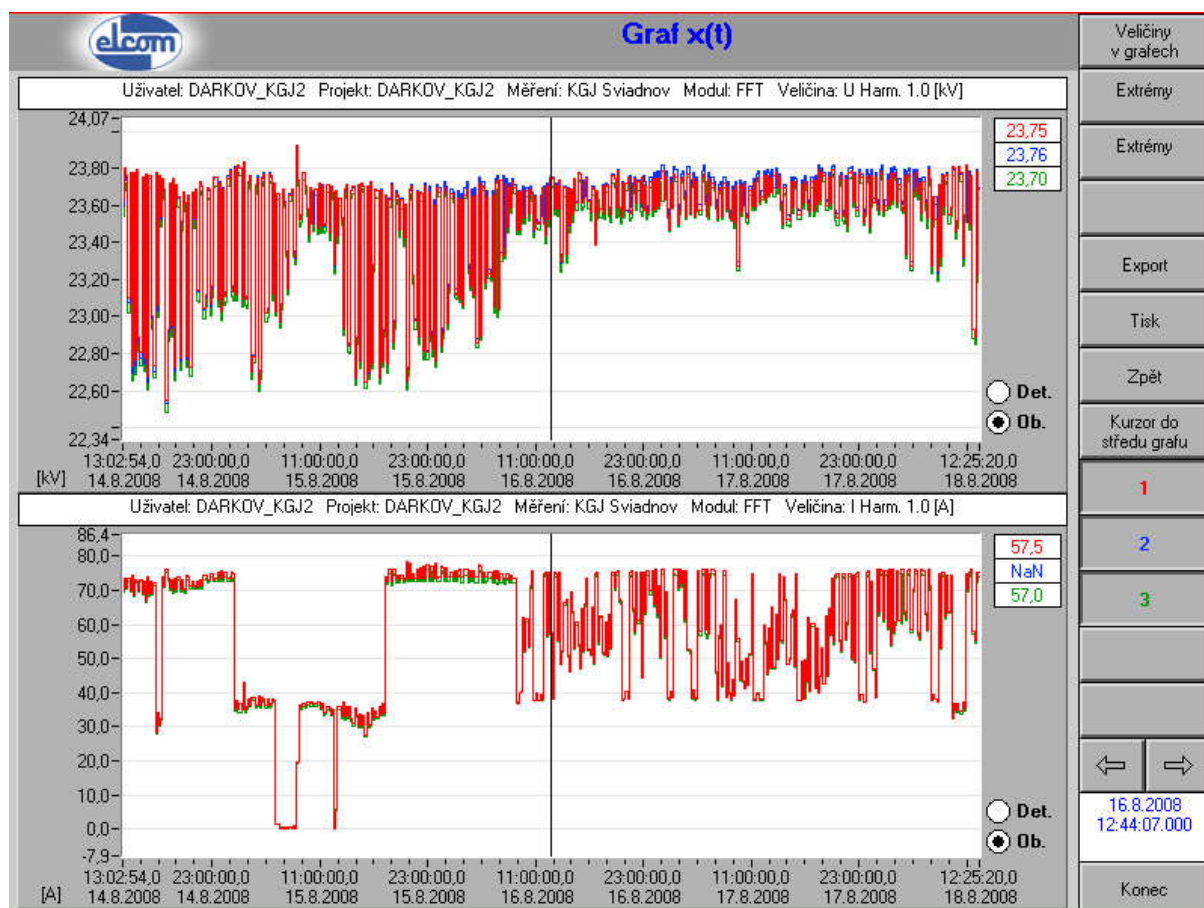
Výběr dat

Pro správné ověření kvality elektrické energie podle norem ČSN EN 50160 a ČSN EN 61000-4-30 by mělo být provedeno měření o délce jednoho týdne. Pro moji diplomovou práci mi byly poskytnuty data z měření ze dnů od 14. 8. 2008 do 18. 8. 2008. Jsou to pouze 4 dny, ale bylo mi řečeno, že pro měření vlivu KJ to je dostatečná doba.

Zpracování dat

Ke zpracování dat jsem použil software firmy ELCOM a. s. PNApost. Tento software slouží k zobrazení, porovnání, statistické zpracování naměřených dat a tisk protokolů, případně export dat. Já ho použil hlavně k exportu dat a také k porovnání naměřených veličin. Výsledkem exportu dat jsou grafy, které uvedu v následujících stranách.

Po spuštění programu PNApost se vyobrazí základní obrazovka. Slouží k vybrání měření. Poté co si určíme, které měření chceme. Stiskneme tlačítko analýza. Následně si zvolíme interval, který chceme zobrazit a potvrdíme OK. Objeví se grafický panel, který obsahuje časové průběhy měřených veličin (obr. 28). Můžeme zde posouvat kurzorem pro odečtení veličin. V pravé části obrazovky máme menu, ve kterém se nachází tlačítko export. SW nám vyexportuje data do textového dokumentu.



Obr. 28 Software PNASoft

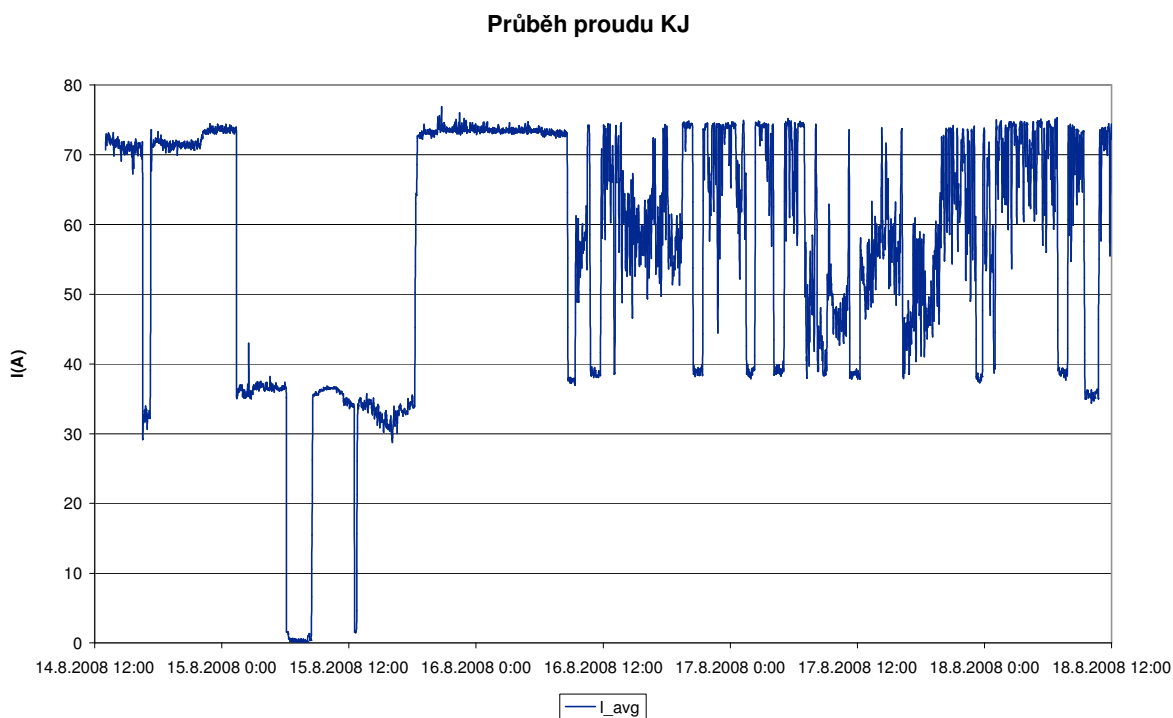
Síťový analyzátor ENA 300 měl nastavený interval ukládání každé 3 sekundy. Pro měření flikru, harmonického zkreslení a dalších veličin byl použit jiný interval ukládání a to co 10 minut.

Exportovaná data byla uložena do textového dokumentu. Textový dokument jsem zpracovával v Microsoft Office Excelu. Vzhledem k velkému počtu naměřených vzorků, kterých bylo více než 100 000 jsem musel důvodů nedostatečného hardwarového zařízení omezit počet vzorků na takový počet, který by nezkresloval výsledné grafy.

Po dohodě s vedoucí diplomové práce jsem se dohodl na intervalu ukládání jeden vzorek za jednu minutu, což je oproti základnímu nastavení na síťovém analyzátoru 20-ti násobek. Tento výsledek jsem provedl pomocí naprogramování v součásti Excelu ve Visual Basic. Tam jsem vytvořil program, který mi z celkového počtu vzorků vytvořil takový výsledek, který jsem chtěl a to je vzorkování 60 vzorků za minutu. [13]

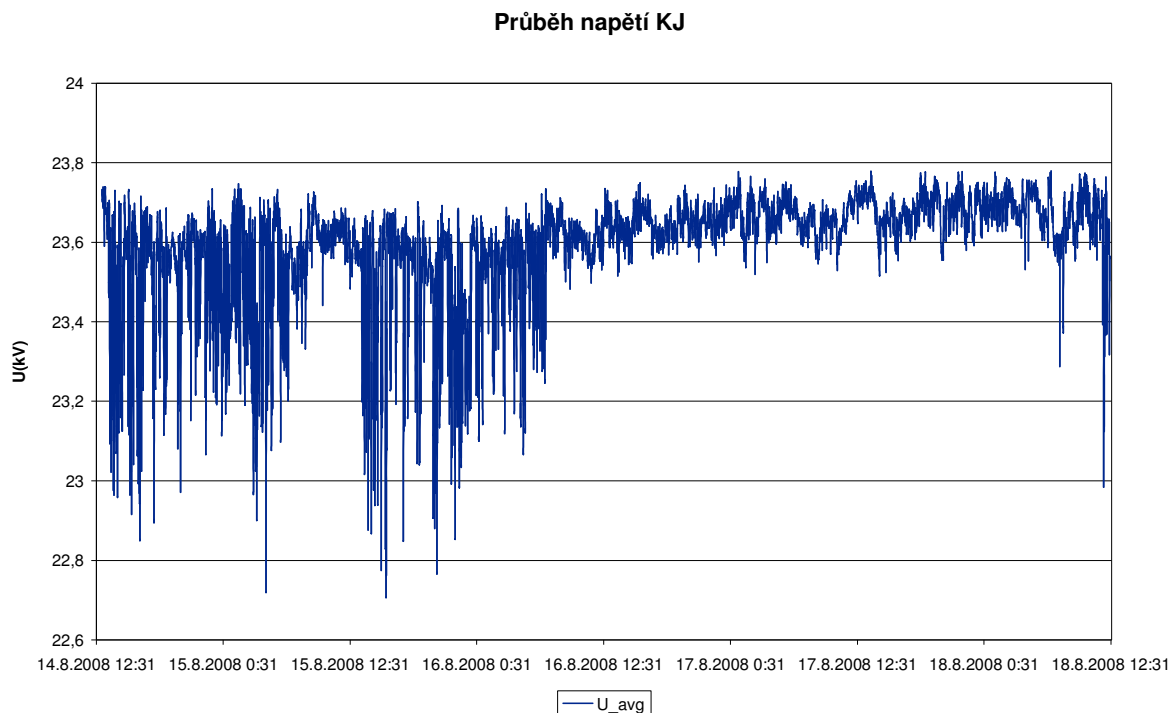
4.5 Zpracované grafy a jejich závěry

V této kapitole popisují jednotlivé veličiny a jejich průběhy. Naměřené hodnoty jsou naměřeny pro obě kogenerační jednotky najednou. U každého grafu je uveden stručný popis. Jestli jsou na průběhu nějaké přechodné jevy nebo jiné nestandardní úkazy, je vždy podáno vysvětlení.



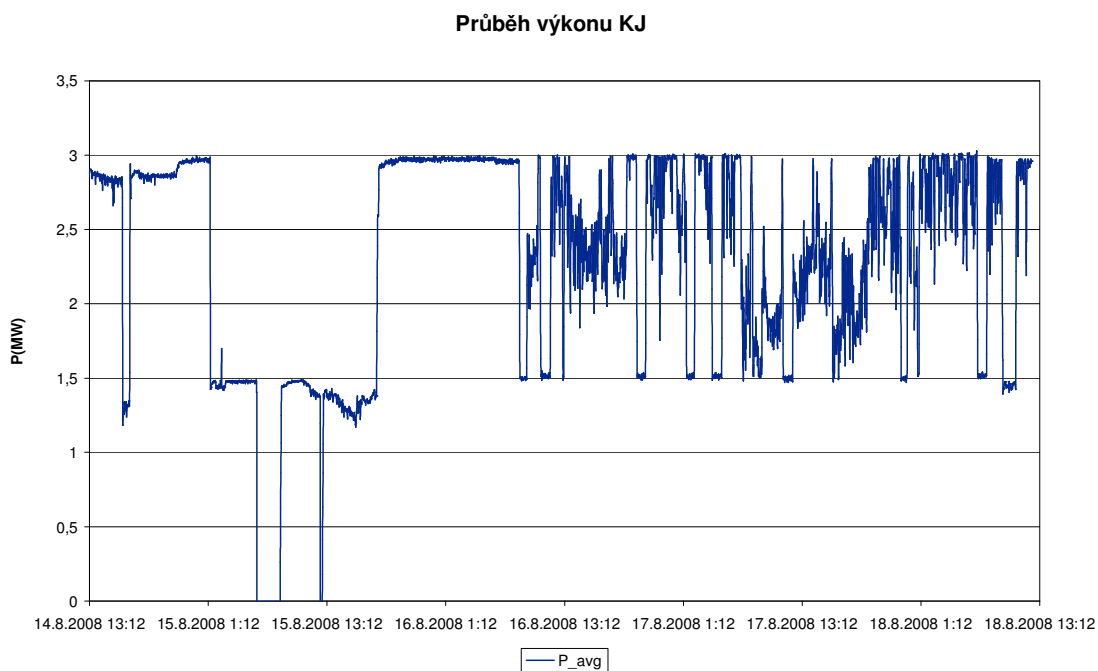
Obr. 29 Průběh proudu KJ

Na obrázku č.29 můžeme vidět průběh proudu KJ. Z grafu vidíme provoz dvou KJ. V odpoledních hodinách 14.8.2008 vidíme přerušení provozu jedné KJ na krátkou dobu, poté znovu zprovoznění obou jednotek. Dne 15.8.2008 vidíme provoz napřed jen jedné KJ a následně vypnutí obou KJ, které odpovídá asi 5 hodinám. V druhé polovině obrázku vidíme kolísání proudu KJ, to může být způsobeno kolísající dodávkou paliva. Můžeme se domnívat, že to je z důvodu nižší důležitosti dodávky důlního plynu pro tuto KJ.



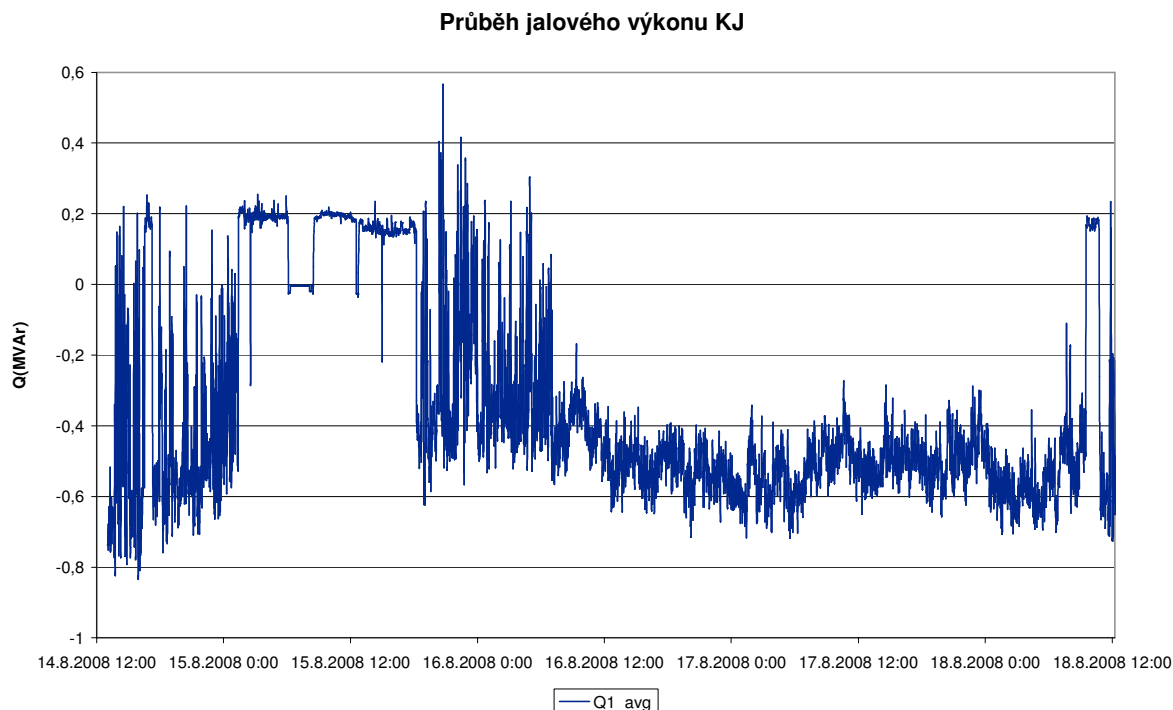
Obr. 30 Průběh napětí KJ

Na obrázku č.30 pozorujeme průběh efektivní hodnoty napětí KJ. V první polovině grafu můžeme vidět velké kolísání napětí až o 1 kV (4-5% U_N). Ve druhé polovině grafu vidíme výrazně menší kolísání napětí, jen o 0,2kV. Vzhledem k ostatním průběhům veličin a četnosti spínání KJ se domnívám, že KJ neovlivňují lokální distribuční síť, ale síť ovlivňuje KJ vlivem provozů těžních strojů na dole č.2.



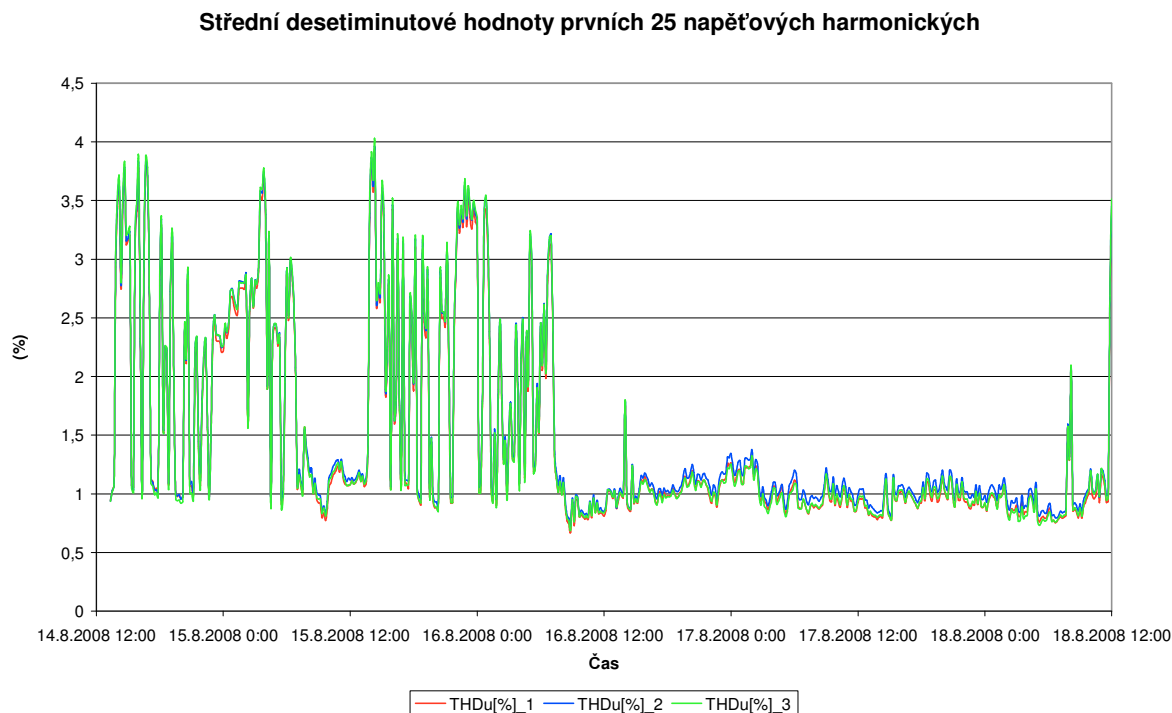
Obr. 31 Průběh výkonu KJ

Na obrázku č.31 vidíme průběh činného výkonu. V grafu vidíme součet výkonů obou KJ. Výkon jedné jednotky je kolem 1,5MW. Součet obou KJ je tedy 3MW. V první polovině grafu vidíme střídání provozu obou KJ a pouze jedné KJ. Ve dne 15. 8. 2008 vidíme vypnutí obou KJ. Ve druhé polovině grafu jsou patrné časté změny výkonu KJ. Je viditelné, že v několika intervalech je vypnutá jedna KJ. K této části provozu nejsou žádné podklady, proč dochází k takovému kolísání.



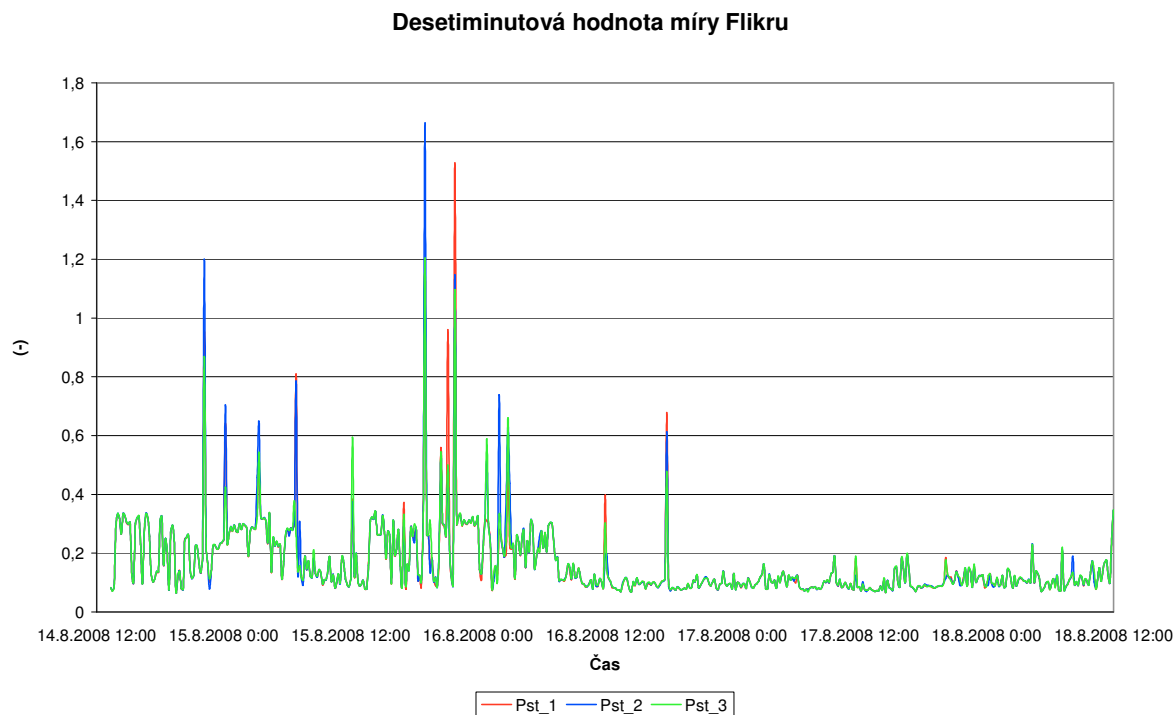
Obr. 32 Průběh jalového výkonu KJ

Na obrázku č.32 vidíme průběh jalového výkonu KJ. V první polovině grafu je zřetelné střídání induktivního a kapacitního charakteru výkonu KJ. Jalový výkon se pohyboval v rozmezí od 0,5 MVar induktivního charakteru do 0,8 MVar kapacitního charakteru.



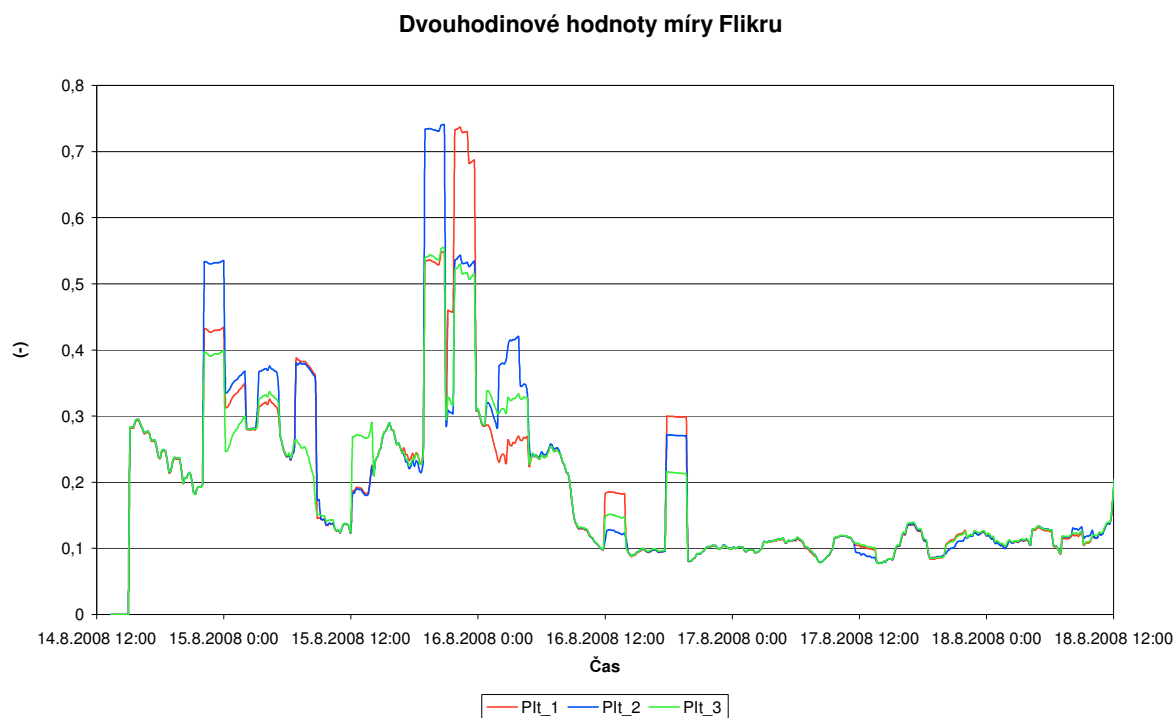
Obr. 33 Střední desetiminutové hodnoty prvních 25 napěťových harmonických

Na obrázku č.33 je znázorněn graf se střední desetiminutové hodnoty prvních 25 napěťových harmonických. Maximální velikost je kolem 4 %. Norma ČSN 50160 uvádí, že celkový činitel zkreslení musí být menší nebo rovný 8 %, což je splněno.



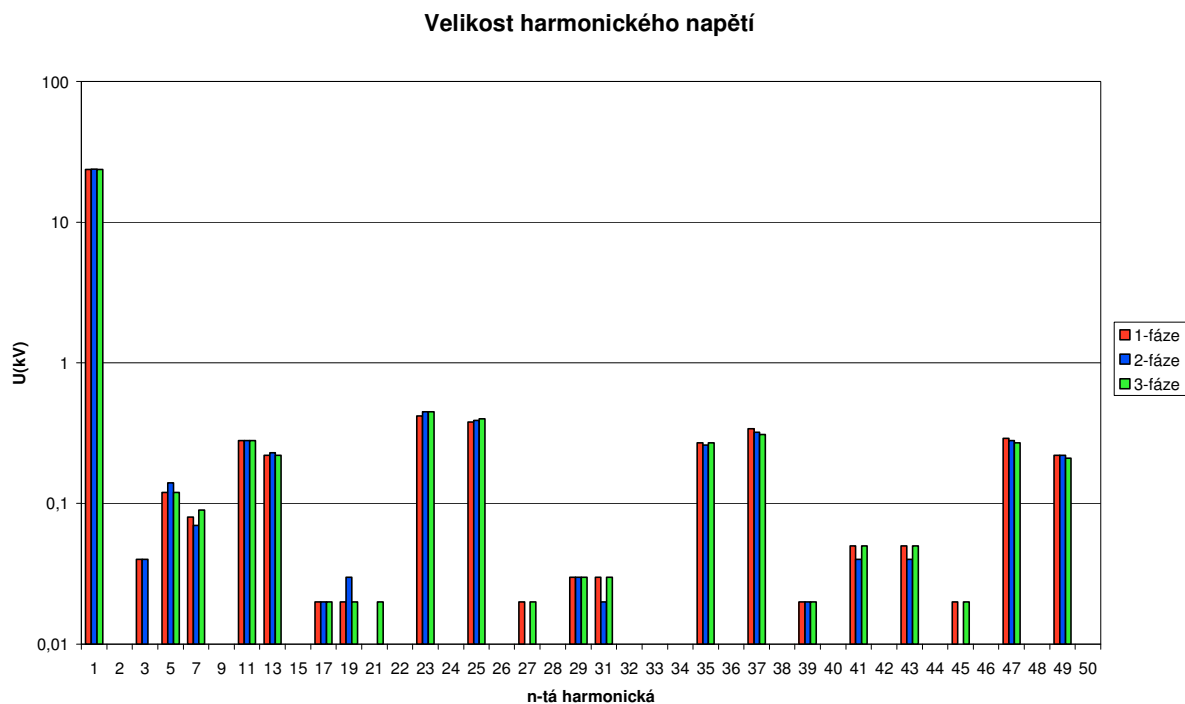
Obr. 34 Desetiminutová hodnoty míry flickru

Na obrázku č.34 vidíme průběh krátkodobé míry flikru. Z průběhu můžeme vidět, že hodnoty krátkodobé míry flikru nepřesahují hodnotu 0,4 a v druhé polovině 0,2. Ostatní překročení této hranice je způsobeno vlivem spínání v síti. Krátkodobá míra flikru nepodléhá provozu KJ, je způsobena těžními stroji a jinými zařízeními zapojené v síti.



Obr. 35 Dvouhodinové hodnoty míry flikru

Na obrázku č.35 vidíme průběh dlouhodobé míry flikru. Zde vidíme, že v první polovině průběhu vidíme zvýšené hodnoty, v druhé polovině už vidíme snížené hodnoty. Tyto změny jsou způsobeny spínání v síti i vlivem těžních strojů.



Obr. 36 Velikost harmonického napětí

Na obrázku č.36 jsou velikosti jednotlivých harmonických napětí. Vidíme zvýšené hodnoty 11., 13., 23., 25., 35., 37., 47., 49. harmonické. Tyto harmonické jsou typické pro provoz usměrňovače ve 12-pulsním zapojení. Ty jsou použity u těžních strojů. Nejedná se tedy o vlivu kogenerační jednotky na síť. Těžní soustrojí nejen na Dole č.2 jsou řízena tyristory, což se projevuje zvýšenými hodnotami harmonických napětí vyšších řádů v rozvodné síti OKD, která je propojena s distribuční sítí společnosti ČEZ, a.s.. Těžní stroje navíc působí v síti OKD změny napětí až o 5 % jmenovité hodnoty (22 kV). Jednotlivé hodnoty harmonických napětí jsou uvedeny v tabulce č. 8. V tabulce jsou také výsledky porovnány s normou ČSN 50160.

Veličina	Limit	Min/Max/% mimo	Min/Max/% mimo	Min/Max/% mimo	Splňuje?
Harmonické U-10min		L1	L2	L3	
U h1 (50Hz) 95%	-	107,73%/0%	107,85%/0%	107,61%/0%	Ano
U h2 (100Hz) 95%	<=2%	0,03%/0%	0,03%/0%	0,03%/0%	Ano
U h3 (150Hz) 95%	<=5%	0,19%/0%	0,2%/0%	0,06%/0%	Ano
U h4 (200Hz) 95%	<=1%	0,02%/0%	0,02%/0%	0,02%/0%	Ano
U h5 (250Hz) 95%	<=6%	0,53%/0%	0,62%/0%	0,55%/0%	Ano
U h6 (300Hz) 95%	<=0,5%	0,02%/0%	0,02%/0%	0,02%/0%	Ano
U h7 (350Hz) 95%	<=5%	0,35%/0%	0,34%/0%	0,43%/0%	Ano
U h8 (400Hz) 95%	<=0,5%	0,01%/0%	0,01%/0%	0,01%/0%	Ano
U h9 (450Hz) 95%	<=1,5%	0,02%/0%	0,04%/0%	0,03%/0%	Ano
U h10 (500Hz) 95%	<=0,5%	0,01%/0%	0,01%/0%	0,01%/0%	Ano
U h11 (550Hz) 95%	<=3,5%	1,22%/0%	1,23%/0%	1,25%/0%	Ano
U h12 (600Hz) 95%	<=0,5%	0,02%/0%	0,02%/0%	0,02%/0%	Ano
U h13 (650Hz) 95%	<=3%	0,94%/0%	0,97%/0%	0,95%/0%	Ano
U h14 (700Hz) 95%	<=0,5%	0,02%/0%	0,02%/0%	0,01%/0%	Ano
U h15 (750Hz) 95%	<=0,5%	0,02%/0%	0,02%/0%	0,02%/0%	Ano
U h16 (800Hz) 95%	<=2%	0,01%/0%	0,01%/0%	0,01%/0%	Ano
U h17 (850Hz) 95%	<=0,5%	0,08%/0%	0,08%/0%	0,09%/0%	Ano
U h18 (900Hz) 95%	<=0,5%	0,01%/0%	0,01%/0%	0,01%/0%	Ano
U h19 (950Hz) 95%	<=1,5%	0,09%/0%	0,1%/0%	0,09%/0%	Ano
U h20 (1000Hz) 95%	<=0,5%	0,02%/0%	0,02%/0%	0,02%/0%	Ano
U h21 (1050Hz) 95%	<=0,5%	0,05%/0%	0,05%/0%	0,06%/0%	Ano
U h22 (1100Hz) 95%	<=0,5%	0,04%/0%	0,04%/0%	0,04%/0%	Ano
U h23 (1150Hz) 95%	<=1,5%	1,72%/13,43%	1,81%/17,13%	1,8%/17,13%	Ne
U h24 (1200Hz) 95%	<=0,5%	0,06%/0%	0,06%/0%	0,06%/0%	Ano
U h25 (1250Hz) 95%	<=1,5%	1,63%/7,87%	1,65%/8,56%	1,74%/11,11%	Ne

Tab.8 Tabulka harmonických napětí

5. Vývoj a perspektiva využití důlního plynu na Ostravsko-karvinsku

Důlní plyn, který má hlavní složku Metan, je uložen v uhelných slojích. Je uvolněn při těžbě uhlí nebo je odveden pomocí vrtů na povrch. Metan patří mezi hlavní skleníkové plyny, jež negativně ovlivňují změny zemského klimatu. Z tohoto důvodu je ve světě snižování emisí v popředí zájmu.

Podstatným “znečišťovatelem“ jsou činné doły, ze kterých se uvolňuje metan do ovzduší z důlní ventilace, ale i již uzavřené doły. V uzavřených dolech se důlní činností postupně uvolňují tzv. zbytkové zásoby důlního plynu, které se zde shromažďují.

5.1 Vývoj kogenerace v OKR

Energie získávaná z důlního plynu

Green Gas DPB, a.s. (dříve OKD, DPB a.s.) je největší společností v ČR, která se věnuje těžbou, distribucí a využívání důlního plynu. Jak vyplývá už z názvu společnosti, působí hlavně na území Ostravsko-karvinského revíru, kde se již uhlí těží více než dvě stě let. V posledních letech se společnost zaměřuje na zahlazení škod vzniklé těžbou.

Jak jsme se mohli dočíst už v dřívějších kapitolách (2.2) tak důlní degazací byla zavedena hlavně z důvodů bezpečnosti práce v dolech. Důlní plyn už nepovažujeme jen za hrozbu, ale v dnešní době už to vnímáme jako užitečný zdroj energie. Společnost Green Gas DPB se brzo dovtípila této možnosti a začala využívat potenciálu důlního plynu. Zahájila metan z uzavřených dolů odčerpávat a distribuovat pomocí potrubního systému. V minulosti se důlní plyn používal jako náhrada za zemní plyn. Dnes se dá použít i pro zajímavější využití.

Začátky kogenerace využívání důlního plynu

Pro lokalitu Vrbice (uzavřený důl v ostravské oblasti) byla vyhlášena soutěž na dodávku KJ a to v roce 2004 na podzim. Jejím vítězem se stala Společnost TEDOM, která slnila nejdůležitější kritérium a to bylo spalování nízkovýhřevného plynu s obsahem metanu do 40 %. Součástí dodávky KJ bylo navržení instalace motoru, generátoru, chladicího zařízení, silového a ovládacího rozvaděče do venkovního kontejneru, vlastní čerpací jednotka s dmýchadlem, kterým je plyn odsán z uzavřené jámy a dodáván do motoru. Do provozu byla KJ uvedena v květnu 2005. Na roční provoz jednotky se spotřebuje 3 mil. m³ směsi důlního plynu.

V roce 2006 byla nainstalována další KJ v lokalitě Chlebovice (Důl Paskov - činný důl v oblasti Frýdecko-Místeka).

1. etapa projektu - další dodávky

Při zdařilé realizace pilotních projektů společnost TEDOM přišla na myšlenku komplexnějšího využití důlního plynu. V listopadu 2006 tedy došlo k podpisu smlouvy na další KJ ve výkonovém rozsahu 770-2000 kWe. V roce 2007 už společnost Green Gas DPB hospodařila s výkonem 12,6 MW, při instalaci 10 KJ. Za devět měsíců provozu KJ bylo vyrobeno 12 mil. kWh elektřiny. Z tohoto výsledku bylo jasné, že počet KJ bude dále narůstat.

2. etapa projektu v roce 2008

V roce 2008 byla opět vypsána soutěž na dodávku dalších kogeneračních jednotek. Ta představovala dodávku 17 KJ na spalování důlního plynu, s celkovým výkonem 27 MWe. V únoru 2008 bylo výběrové řízení úspěšně ukončeno. S koncem roku 2008 byly v OKR nainstalované kogenerační jednotky s celkovým instalovaným výkonem více než 20 MWe.

Celkový počet instalací projektu – 28 KJ TEDOM. Celkový elektrický výkon po dokončení všech etap celého projektu bude dosahovat téměř 40 MWe.

[16]

5.2 Metoda optimálního zvýšení těžby karbonského plynu

Když se zamyslíme nad potenciálem karbonského plynu (důlní plyn s vyšším obsahem metanu nad 30%). V budoucnosti kdy se bude stále snižovat těžba černého uhlí je zapotřebí se zamyslet nad využití starých důlních děl a to z hlediska bezpečnostního tak i z hlediska zahlazení ekologických škod. Z důvodů širokého využití se dá očekávat, že se zvýší poptávka po důlním plynu. Proto je vhodné se věnovat zvýšení těžby karbonského plynu.

Ze stavu restrukturalizace a současně probíhajícího útlumu dolů OKR vychází metoda optimálního zvýšení těžby karbonského plynu s možností aplikace na kterýkoliv důl OKR s cílem možného zavedení optimálního zvýšení těžby karbonského plynu v této etapě vývoje těžební činnosti dolů OKR.

Zároveň je metodou řešena problematika nepřestávající těžby slojového plynu po ukončení hornické činnosti dolů OKR.

Metoda je za využití teoretických a praktických poznatků určena pro oblast:

- a) vzniku metanu a zákonitostí jeho uvolňování,
- b) degazace uhelné sloje,
- c) technologií těžeb plynu z uhelných slojí,
- d) degazace horninového masivu.

Postup aplikace

Obecně platný postup se dá aplikovat na libovolný prostor dolu OKR dle následujících základních kritérií:

I. posouzení:

- 1) geologie a hydrologie ložiska,
- 2) konkrétní charakteristiky dobývacího prostoru,
- 3) předpokládaného vývoje hornické činnosti,
- 4) vývoje plynových poměrů,
- 5) vývoje těžby karbonského plynu z jednotlivých typů degazovaných zdrojů,
- 6) vydatnosti a stálosti jednotlivých typů existujících degazačních zdrojů,
- 7) absolutní plynodajnosti dolu před ukončením těžební činnosti.

II. návrh stanovení:

- 1) kritérií hodnocení existujících degazačních zdrojů,
- 2) absolutní plynodajnosti dolu po ukončení hornické činnosti dolu, tj. absolutní plynodajnost dolu počáteční,
- 3) možných variant těžby karbonského plynu podmíněné obdobím útlumu těžby dolů OKR,
- 4) těžby karbonského plynu degazací před ukončením hornické činnosti dolu,
- 5) těžby karbonského plynu degazací po ukončení hornické činnosti dolu.

[17]

5.3 Perspektiva kogenerace v oblasti OKR

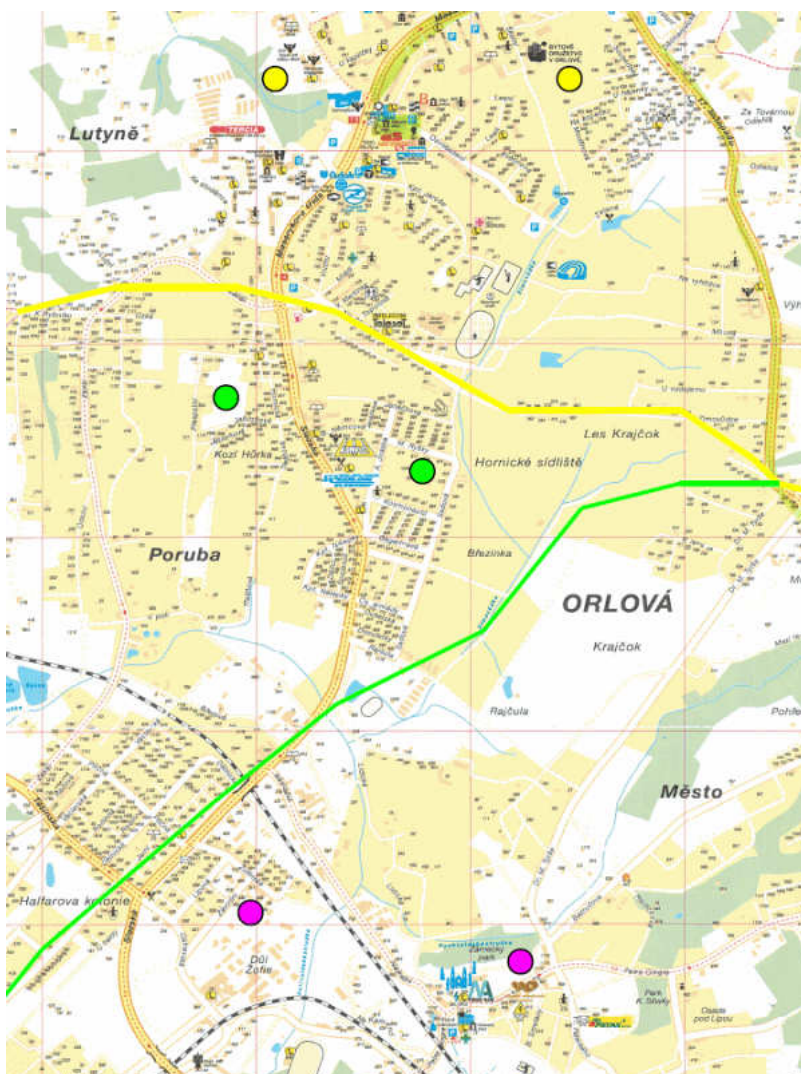
Řada měst a obcí leží v ostravsko-karvinské oblasti na poddolovaném území. Pokud by na povrch vystupoval důlní plyn, znamenalo by to bezprostřední ohrožení, kvůli čemuž se již v minulosti prováděla následující opatření:

- označení míst výstupu plynu a zřízení ochranných pásem,
- odsávání plynu v kontrolních místech s jeho následným spalováním v místě výtlačku kompresorů.

Výrazný posun nastal v posledních letech v oblasti zajištění bezpečnosti okolí. Mimo jiné i v oblasti využití energie důlního plynu i ochrany životního prostředí a v neposlední řadě také v podobě výstavby kogeneračních jednotek spalujících důlní plyn v místech výskytu. Taktéž není z uvedených přínosů zanedbatelný ani ekonomický efekt z prodeje vyrobené elektřiny a tepla.

Cca 40% paliva ušetří použití kogenerační způsob výroby tepla a elektrické energie. Z hlediska finanční stránky toto znamená, že uživatel zaplatí za stejné množství energie jen 60% nákladů. Neopomenutelné je, že v místě spotřeby vzniká teplo i elektrická energie, díky čemuž odpadají náklady na rozvod energie i tím způsobené ztráty.

Nedávno byla zpracována studie komplexního využití důlního plynu a jejího přechodu na tepelné zásobování z kogeneračních zdrojů v oblasti Orlové, spalujících důlní plyn. Na obrázku č.39 jsou umístěny kogenerační zdroje, které jsou umístěny tak, aby využily důlní plyn pro zásobování města.



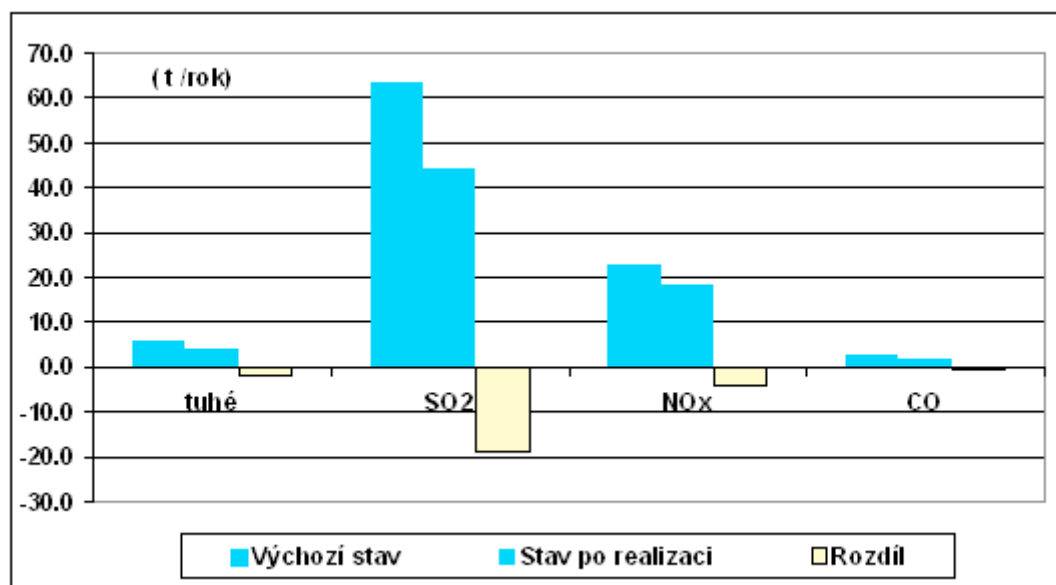
Obr. 37 Umístění KJ v oblasti Orlová

Kogenerační jednotky mají význam i pro životní prostředí nebo ekonomiku provozu. V následující tabulce je porovnání spotřeby elektrické energie z klasické uhelné elektrárny a kogeneračního zařízení spalující dūlní plyn.

Spotřeba paliv a energie	Výchozí stav	Stav po realizaci	Rozdíl	Rozdíl
	GJ /rok	GJ /rok	GJ /rok	%
	151 576.000	99 368.673	52 207.327	34.44

Znečišťující látka	Výchozí stav	Stav po realizaci	Rozdíl	Rozdíl
	t /rok	t /rok	t /rok	%
tuhé	5.673	3.940	1.733	30.55
SO ₂	63.242	44.261	18.980	30.01
NO _x	22.429	18.147	4.282	19.09
CO	2.361	1.759	0.602	25.50
CO ₂	18 071.423	13 852.760	4 218.662	23.34

Tab.9 Porovnání před a po zřízení KJ



Obr. 38 Pokles emisí po instalaci KJ

Pokles emisí po instalaci kogenerační jednotky

V posledních letech se nad využití dūlního plynu začalo hodně přemýšlet jako o lokálním zdroji pro města nebo pro průmyslové provozy. Začali další projektové přípravy kogeneračních zdrojů včetně průzkumů vhodných ložisek dūlního plynu. V budoucnu se musí počítat se snížením výkonu existujících vrtů a bude potřeba najít nové ložiska. Z tohoto důvodu jsou výhodné kogenerační jednotky, které jsou sestaveny jako kontejnerové, a proto mohou být snadně přemístěny.

Závěr

Diplomová práce podává ucelený přehled využití důlního plynu jako paliva pro kombinovanou výrobu elektrické energie a tepla. S přibývajícím počtem obyvatel se zvyšuje produkce elektrické energie, a tím se musí hledat nové směry výroby elektrické energie, protože zdroje fosilních paliv rychle ubývají a musí se nahradit jinými zdroji. Kogenerace je proto jeden ze směrů, který tuto otázku může v lokálním využití nahradit. Z hlediska ekologického nám může pomoci spalování jednoho z nebezpečných skleníkových plynů a to je metan. Z důlních děl, kterých je po světě nezpochybně stoupá každým dnem velké množství metanu, který by se mohlo v kogeneračních jednotkách spálit a přispět jednak k čistšímu prostředí a zároveň k ušetření fosilních paliv k výrobě elektrické energie a jednak tepelné energie. Výroba tepla z kogeneračních jednotek má široké využití, proto se určitě najde jeho využití.

V praktické části DP jsou posouzeny vlivy konkrétní kogenerační jednotky na lokální distribuční síť. Konkrétní kogenerační jednotka byla umístěna u činného dolu v Ostravsko-karvinském revíru. Analýzu získaných dat jsem provedl v programu firmy Elcom a.s. PNApost. Jednotlivé parametry a veličiny jsem posoudil z hlediska platné normy ČSN 50160 a z hlediska pravidel pro paralelní provoz zdrojů se sítí provozovatele distribuční soustavy. Tyto dokumenty se zabývají charakteristikou napětí elektrické energie dodávané z veřejné distribuční sítě. Podmínky normy nebyly splněny pro 23. a 25. harmonickou napětí, u kterých byly překročeny povolené meze. Jejich velikosti překročení jsou uvedeny v tabulce č. 8. Ostatní parametry jako frekvence, velikost napětí, flikr, nesymetrie napětí splňovaly podmínky normy.

Použitá literatura

- [1] Dvorský, E. – Hejtmánková, P.: Kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie, BEN, 2005
- [2] Krbek, J. – Polesný, B.: Kogenerační jednotky zřizování a provoz, GAS s.r.o. 2007
- [3] Prokop, P.: Důlní degazace, VŠB-TUO, 2008
- [4] Říman, A. – Vavro, M.: Důlní plyny a jejich průvodní horniny, SNTL, 1964

Elektronické zdroje:

- [5] [Http://www.infoenergie.cz/](http://www.infoenergie.cz/) [online]. 2004 [cit. 2010-11-25]. Hospodárná energie-Kogenerační jednotky. Dostupné z WWW: <<http://www.infoenergie.cz/web/root/energy.php?nav01=123&nav02=134>>.
- [6] [Http://www.ekowatt.cz/](http://www.ekowatt.cz/) [online]. 2008 [cit. 2010-10-25]. Kogenerace. Dostupné z WWW: <<http://ekowatt.cz/uspory/kogenerace.shtml>>.
- [7] [Http://www.okd.cz/](http://www.okd.cz/) [online]. 2010 [cit. 2010-10-25]. Důlní plyn a metan. Dostupné z WWW: <<http://www.okd.cz/cz/tezime-uhli/uhli-tradicni-zdroj-energie/dulni-plyny-a-metan/>>.
- [8] [Http://www.okd.cz/](http://www.okd.cz/) [online]. 2010 [cit. 2010-10-25]. Kde působí OKD. Dostupné z WWW: <<http://www.okd.cz/cz/o-nas/kde-pusobi-okd/>>.
- [9] [Http://www.ekowatt.cz/](http://www.ekowatt.cz/) [online]. 2008 [cit. 2010-10-25]. Kogenerace. Dostupné z WWW: <<http://ekowatt.cz/uspory/kogenerace.shtml>>.
- [10] <http://www.tedom.cz>
- [11] [Www.deutzpowersystems.com](http://www.deutzpowersystems.com) [online]. 2011 [cit. 2011-02-20]. DEUTZ POWER SYSTEMS. Dostupné z WWW: <<http://www.spnergy.com/assets/download/tcg-2020k.pdf>>.
- [12] Firemní literatura Elcom a.s.. Dostupné z WWW: <<http://www.elcom.cz>>
- [13] Katalogový list analyzátoru ENA. Dostupné z WWW: <<http://www.elcom.cz>>
- [14] norma CSN 50160
- [15] [Www.eon-distribuce.cz](http://www.eon-distribuce.cz) [online]. 2009 [cit. 2011-02-20]. PRAVIDLA PROVOZOVÁNÍ DISTRIBUČNÍCH SOUSTAV. Dostupné z WWW: <http://www.eon-distribuce.cz/file/cs/electricity/regulations/PPDS_2009_4.pdf>.
- [16] [Www.okd.cz](http://www.okd.cz) [online]. 2010 [cit. 2011-02-20]. Elektrina a teplo z důlního plynu. Dostupné z WWW: <<http://www.okd.cz/cz/media/napsali-o-nas/elektrina-a-teplo-z-dulniho-plynu/>>.
- [17] [Http://actamont.tuke.sk](http://actamont.tuke.sk) [online]. 2003 [cit. 2011-02-20]. Aplikace metody optimálního zvýšení těžby karbonského plynu pro stanovení jeho vytěžitelného množství z dobývacího prostoru utlumeného závodu Paskov Dolu Paskov, o. z. Dostupné z WWW: <<http://actamont.tuke.sk/pdf/2003/n2-3/7dragon.pdf>>.

- [18] OPLUŠTIL, Josef. *Http://energie.tzb-info.cz* [online]. 2009 [cit. 2011-02-20]. Důlní plyn jako druhotný zdroj energie pro kombinovanou výrobu elektřiny a tepla. Dostupné z WWW: <<http://energie.tzb-info.cz/kogenerace/5644-dulni-plyn-jako-druhotny-zdroj-energie-pro-kombinovanou-vyrobu-elektriny-a-tepla>>.
- [19] Slovní objasnění pracovníka dolu